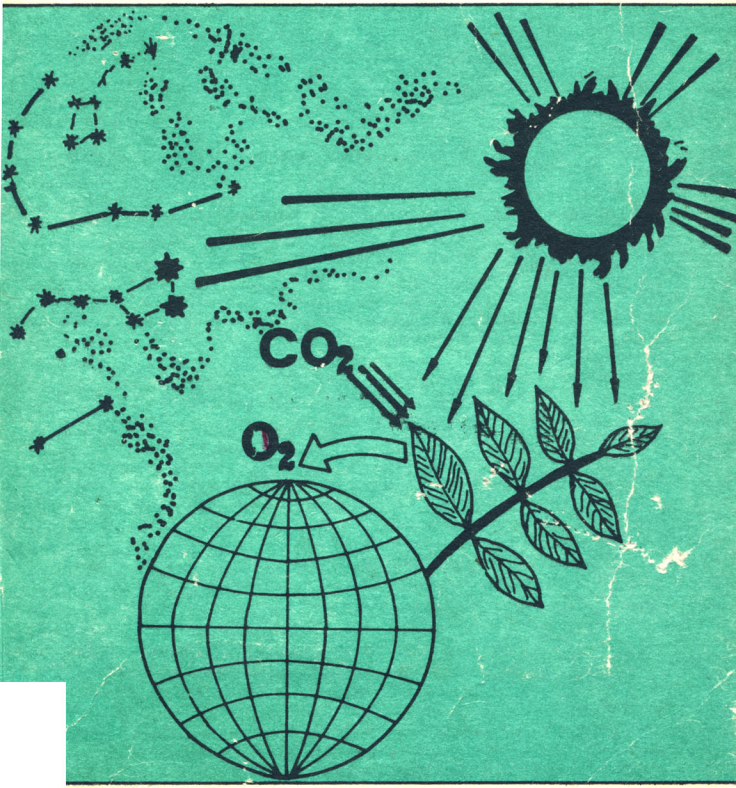
LUCIAN GHINEA

Circuite naturale — o lecție de economie



CIRCUITE NATURALE — O LECȚIE DE ECONOMIE

Se pare cum că-i altă toamnă,
Ci-n veci aceleaşi frunze cad
M. Eminescu

LUCIAN GHINEA

CIRCUITE NATURALE — O LECŢIE DE ECONOMIE

EDITURA ENCICLOPEDICĂ
București, 1991

Referent ştiinţific: dr. ing. GHEORGHE ŞTEFANIC

ISBN 973-29-0149-7

I. ETERNA REÎNTOARCERE ÎN NATURĂ

„Numai cu ajutorul științelor vieții se va putea schimba radical calitatea vieții"

A. Huxley, "Minunate lume nouă"

1. Viața, această complicație în circuitul carbonului

Una dintre cele mai uluitoare ipoteze ale științei acestui sfîrșit de mileniu vrea să facă din „tunelul timpului", nu un joc sclipitor al minții creatorilor de literatură științifico-fantastică ci o realitate. Nu am ajuns încă nici la verificarea experimentală și cu atît mai puțin la folosirea ei practică, dar dacă un om ar putea regresa pe această cale, în timp, patru miliarde de ani, n-ar putea rezista nici cîteva secunde în atmosfera Pămîntului primitiv. I-ar lipsi oxigenul, ar fi supus agresiunii unor substanțe toxice, de la amoniac la acidul cianhidric.

Dacă un om obișnuit, fără cunoștințe speciale, dar îmbrăcat asemeni cosmonauților ce vizitau Luna, ar întreprinde acest voiaj în timp, fără să știe că se află tot pe Terra, ar fi convins că pe un asemenea tărîm ostil viața nu va apare niciodată. Realitatea contrazice însă întotdeauna aparențele: Stanley Miller a demonstrat, în laboratorul său, că

tocmai într-o asemenea atmosferă, lipsită de oxigen, bogată în hidrogen, metan, amoniac (atmosferă reducătoare, opusă atmosferei terestre de azi) se pot forma ingredientele necesare apariției vieții.

Acidul cianhidric este, se știe, una din cele mai puternice otrăvuri: pare însăși negarea vieții și totuși el a fost, acum patru miliarde de ani, „materia primă" pentru sinteza aminoacizilor, „cărămizile" din care s-a clădit edificiul vieții. Într-adevăr, aminoacizii produc, prin combinare, biopolimerii cei mai caracteristici lumii vii, proteinele. De aceea savanții care căutau, prin ipoteze îndrăznețe, să ajungă la originea vieții (Haldane, apoi Oparin), credeau că este suficient să demonstrezi cum s-au format proteinele. Haldane (și după el, Oparin) a presupus că apoi proteinele formează ansambluri de complexitate crescîndă, coacervatele. Privitor la această ipoteză Woese (1979) scria: „tezele lui Oparin sînt inexacte atît în presupunerile lor de bază, cît și în concluziile lor majore... problema nu se pune să le modificăm, ci să le înlocuim".

Aceste teze ignorau în acea vreme că esențialul în evoluția vieții nu-l reprezintă proteinele, ci o altă clasă de compuși chimici — acizii nucleici, DNA și RNA (Barbieri, 1981) — care cuprind în molecula lor baze organice azotate, acid fosforic și un zahăr cu cinci atomi de carbon (riboză sau dezoxiriboză). Moleculele de acizi nucleici au caracteristica de a-și păstra constantă o anume compoziție chimică, fiecare moleculă servind ca „tipar" pentru sinteza alteia complementare. Datorită acestui fapt, moleculele de acizi nucleici au capacitatea de a conserva caracterele ereditare ale ființelor vii, datorită lor urmașii sînt, în linii mari, identici cu părinții care îi generează (o bacterie holerică va genera o altă

bacterie holerică și din oul unei găini va proveni o altă găină).

Încă de acum un secol se știa că la baza caracterelor diferite ale viețuitoarelor stau substanțe proteice, a căror structură diferită se transmite ereditar. În vremea aceea nu se știa însă că structura constantă a proteinelor se datorește existenței unei secvențe de acizi nucleici pe „tiparul" cărora se sintetizează proteine și cărora li s-a dat numele de „gene". Prin urmare problema apariției vieții este cea a apariției primei gene (Muller, 1929), capabilă de schimb de energie cu mediul și de autoreproducere, „singura genă independentă ce a existat pe Terra" (Ceapoiu, 1976).

Firește, s-a putut demonstra că, pornind de la acrilonitril se pot sintetiza baze nucleice azotate (uracil, guanină, xantină), că acid fosforic exista în Oceanul Primitiv, iar din formaldehidă se pot produce zaharuri, inclusiv riboză.

Astăzi nu este nici o dificultate pentru un cercetător să demonstreze că acum vreo trei miliarde și nouă sute de milioane de ani Oceanul Primitiv conținea toate ingredientele necesare alcătuirii ființelor vii, în cantități atît de mari, încît acesta semăna mai de grabă cu o supă concentrată decît cu marea atît de familiară nouă. Era ceea ce s-a numit „supa organică primitivă". Abundența substanțelor necesare vieții se datora, pe de o parte, genărării lor continue, pe de altă parte — cvasiabsenței fenomenelor de consumare a acestora.

Se știe că aceste substanțe au existat în Oceanul Primitiv nu numai pentru că s-au putut demonstra logic căile lor de sinteză, ci și pentru că mesagerii din spațiul cosmic — meteoriții — arată că aceste substanțe efectiv există în constituția unor

planete pe care viața nu a apărut. Astfel, meteoritul Allan Hill, căzut în Antarctica (1978) și care a putut fi analizat înainte de a se contamina cu substanțe de origine terestră conținea aminoacizi (D și L alanină, acid D — p — aminobutiric, valină, glicină, acid D și L aspartic, acid D și L glutamic, D și L lizină) și baze azotate.

Faptul că Oceanul Primitiv avea tot ceea ce era necesar pentru a genera viața reprezintă însă numai prima condiție pentru apariția acesteia. Greutatea cea mai mare o reprezintă explicarea modului în care ea însăși a apărut!

Caracteristica esențială a viului o reprezintă ordinea strictă existentă în structura viețuitoarelor, ordinea tuturor proceselor care condiționează existența. Nu avem pînă astăzi o definiție a vieții, dar majoritatea specialiștilor consideră că viața însăși este reprezentată de o suită de procese în urma cărora se generează o foarte redusă cantitate de energie care se transferă unui lung șir de reacții chimice (Szent Gyorgy). Acest lung șir de reacții chimice, ordonate (suportul vieții însăși), este numit metabolism. Ordinea ce domnește în metabolism reflectă, la rîndul ei, ordinea strictă în care sînt constituite structurile vii, în care reacțiile metabolice se desfășoară.

Specificitatea proteinelor este dată de o succesiune caracteristică a aminoacizilor în proteine („secvența aminoacizilor"), succesiune ce nu face decît să repete o alta existentă în acizii nucleici („secvența bazelor acizilor nucleici"). Nu s-a putut explica pînă în prezent cum, din lumea anorganică, supusă numai jocului întîmplării, a apărut ordinea caracteristică vieții. Marele genetician și microbiolog Monod, laureat al Premiului Nobel, într-o fru-

moasă carte (*Hazardul și necesitatea*) aprecia că apariția primelor sisteme vii constituie o limită, o frontieră a cunoașterii, un domeniu în care capacitatea de înțelegere a minții omenești este încă sfidată de întuneric.

Monod consideră că viața a apărut întîmplător pe Terra, că evoluția planetei ar fi putut tot așa de bine să ia o altă direcție, că „numărul nostru a ieșit la loterie la Monte Carlo la fel de surprinzător ca un cîștig de un miliard". Genialul cercetător francez afirmă că această condiție stranie a omului este resimțită de către acesta, determinîndu-i într-un fel reacțiile psihice. Încă de cu trei decenii în urmă anatomistul Rouvière aprecia că, pe lîngă producerea întîmplătoare a secvenței specifice proteinelor, asamblarea spontană a unui automobil într-o mină de fier este de o mie de ori mai probabilă.

Date apărute în ultimii 20 de ani nu concordă integral cu opiniile autorului *Hazardului și necesității*, ci conduc, dimpotrivă, la ideea că există unele legități naturale care determină o succesiune ordonată de structuri și reacții în materia vie. O anumită conformare a moleculei (o anumită stereochimie) bazei azotate va impune cuplarea mai probabilă cu un aminoacid, făcînd ca, în timp, să-l „codifice" pe acesta în structura proteinei. Astfel, uracilul (dintre bazele azotate) codifică cu mare probabilitate un aminoacid hidrofob.

Trebuie totuși să recunoaștem că, dacă știința cunoaște de pe acum unele cărări care, urmărite cu consecvență, vor putea în viitor să ne dea o imagine mai exactă asupra modului cum a apărut viața pe Pămînt, în prezent nu dispunem decît de ipoteze destul de vagi asupra acestui subiect. Știm doar că acum aproape 4 miliarde de ani pe Pămînt s-au

format lanțuri de acizi nucleici cu structură cvasiconstantă și că aceștia au putut cataliza sinteza unor proteine, cu structură strict determinată de „tiparul" reprezentat de acizii nucleici pe care ele au fost sintetizate. Acest fenomen se petrece, de altfel întocmai, și azi, în toate ființele vii.

O imagine cu totul nouă asupra procesului apariției vieții ar putea fi adusă de descoperirea recentă a așa-numitelor „proteine infecțioase", producătoare ale unor infecții lente și despre care se presupune că se autoreproduc fără intervenția vreunui acid nucleic. Această descoperire poate readuce în discuție apariția inițială a proteinelor în lungul șir de procese care au dus la apariția vieții. Tot felul de ipoteze și speculații devin posibile, de pildă ideea că cele două procese prebiotice s-au putut dezvolta paralel — unul avînd la bază proteinele, altul, acizii nucleici. La un anumit moment ele s-au putut asocia dînd naștere, prin simbioză, unor sisteme asemănătoare într-un anume fel cu cele de astăzi (este o ipoteză asemănătoare cu cea formulată în 1850 de Altmann și care vedea în viețuitoarele cu nucleu adevărat, eucariotele, fie ele plante sau animale, asociații între două procariote; inițial privită ca fantezistă, această ipoteză este considerată astăzi drept cea mai probabilă).

Ipotezele înfățișate sau altele ce s-ar putea imagina sînt însă timpurii, căci se știu încă prea puține lucruri despre proteinele infecțioase, de fapt nimic despre modul în care se înmulțesc și despre felul în care își păstrează constantă structura, zestrea ereditară.

Este necesar să examinăm și o altă ipoteză, conform căreia viața a apărut pe Pămînt venind de pe alte astre. Primul care a formulat această ipoteză (denumită panspermie) a fost filosoful grec

Anaxagoras, care trăia în Atena, cu patru secole înainte de era noastră, în secolul de strălucire intelectuală care poartă numele înțeleptului conducător ce a fost Pericles. Ipoteza panspermiei a zăcut uitată multe secole, fiind reînviată la cumpăna dintre secolele al XIX-lea și al XX-lea de către Svante Arrhenius. Ea presupune că viața a apărut pe alte planete, în condiții diferite decît cele de pe Terra, fiind apoi transportată pe o cale oarecare pe planeta noastră. De fapt ea nu explică concret în ce condiții și cum a apărut viața, cu alte cuvinte nu reprezintă un progres real în problemă.

Ca argumente ale ipotezei panspermiei au fost înfățișate descoperirile cu privire la existența unor compuși organici în spațiul cosmic.

Asemenea compuși există într-adevăr și uneori ei sînt transportați pe Pămînt de către meteoriți. Nu se poate însă în nici un fel explica cum ar putea rezista în spațiul cosmic — la temperaturi apropiate de zero absolut, în vid înaintat și în condițiile unor radiații cosmice ucigătoare — chiar cele mai primitive organisme vii.

S-a emis mai recent ipoteza că organismele vii ar putea fi generate în nucleul cometelor și ejectate înspre Terra atunci cînd cometele trec în apropierea planetei noastre. Asemenea mesageri din spațiul cosmic ar fi răspunzători, în timpurile istorice, de apariția unor epidemii ucigătoare, cum ar fi epidemia de gripă spaniolă care a făcut 30 milioane de victime după primul război mondial, epidemia de ciumă care a înjumătățit populația Europei în secolul al XIV-lea, sau recent-descoperita „boală a veteranilor".

Știm însă exact în ce context a apărut virusul răspunzător de declanșarea gripei spaniole (a fost de fapt o neglijență de manipulare într-un labora-

tor de virusologie) și că marele număr de victime se datorește mai mult mizeriei de după războiul prelungit decît caracteristicilor virusului. În ceea ce privește ciuma, germenul ce o produce este o bacterie mult prea complexă pentru a putea fi vorba de un organism primitiv, născut în spațiul sideral și transportat pe planeta noastră. Aceeași argumentație este valabilă și pentru microorganismul *Legionella*, agentul „bolii veteranilor", iar faptul că el a rămas necunoscut pînă în vremea noastră se datorește desigur caracterului rar al bolii pe care o provoacă. Este adevărat că microorganismul are exigențe de viață modeste, el putînd trăi saprofit în condiții de viață asemănătoare celor ce au existat în trecutul planetei noastre (a fost regăsit în lacurile formate după recenta erupție vulcanică din statul Washington — SUA), dar, oricum, total deosebite și, am zice, total opuse celor existente în spațiul cosmic.

O altă ipoteză presupune că însămînțarea Pămîntului cu germenii vieții ar fi opera conștientă a unei civilizații muribunde de pe altă planetă. Aceasta, dîndu-și seama că nu mai poate supraviețui pe propria planetă și neavînd posibilitatea tehnică de a asigura migrarea măcar a cîtorva umanoizi pe o altă planetă locuibilă (nici omenirea n-ar putea realiza astăzi așa ceva, căci planetele din preajma noastră nu sînt locuibile, iar cele locuibile sînt prea îndepărtate), a dorit să mai dea șanse vieții trimițînd, cu mici rachete, microorganisme, spre toate planetele apte de a genera viață. Deși ipoteza aparține unor oameni de știință, ea are mai curînd un caracter literar, științifico-fantastic.

În fine, o ultimă ipoteză presupune nașterea vieții pe Pămînt, dar cu interferența ulterioară a unei civilizații mai avansate, din spațiul sideral. Deși a-

cestă ipoteză nu se referă direct la problema pe care o discutăm — apariția vieții pe Terra — vom spune cîteva cuvinte despre ea: ipoteza este clădită nu pe argumente reale ci pe atribuirea „extratereștrilor" a tot ceea ce știința n-a putut explica satisfăcător. Se ignoră faptul că toate creațiile, atribuite unei civilizații extraterestre superioare, poartă nu marca acestui presupus avans tehnologic, ci dimpotrivă, pecetea originii lor primitive, oricît de perfectă ar fi execuția lor. Aceasta este deopotrivă valabil pentru statuile din Insula Paștelui, cetățile andine, piramidele egiptene toate subsumabile epocii neolitice, cel mult epocii bronzului. Cît despre ideea că umanoizi de pe alte planete s-ar fi putut stabili pe Terra, ea este dezmințită de caracterul unitar al speciei umane, de faptul că toate populațiile umane se pot metisa, în vreme ce acest fenomen este imposibil chiar între speciile cele mai apropiate. Asemenea ipoteze constituie, desigur, opera unor diletanți, cu slabe cunoștințe de biologie.

Viața de astăzi de pe Terra a apărut foarte probabil pe planeta noastră, sub forma unor sisteme primitive.

Aceste sisteme — încă neaparținînd lumii vii, dar deja pornite pe calea spre viață — au generat apoi primele celule-organisme, cu un grad foarte ridicat de complexitate, conținînd acizi nucleici ce au înscrise toate caracterele ereditare, proteine specifice, precum și numeroase alte substanțe. A fost un proces lung (peste 2,5 miliarde de ani), anevoios și complet necunoscut nouă, denumit „evoluția chimică lentă".

Elementul esențial al acestei evoluții l-a constituit bogăția — unică în istoria Pămîntului — de compuși organici, adică de combinații în care carbonul se află într-o stare mai mult sau mai puțin

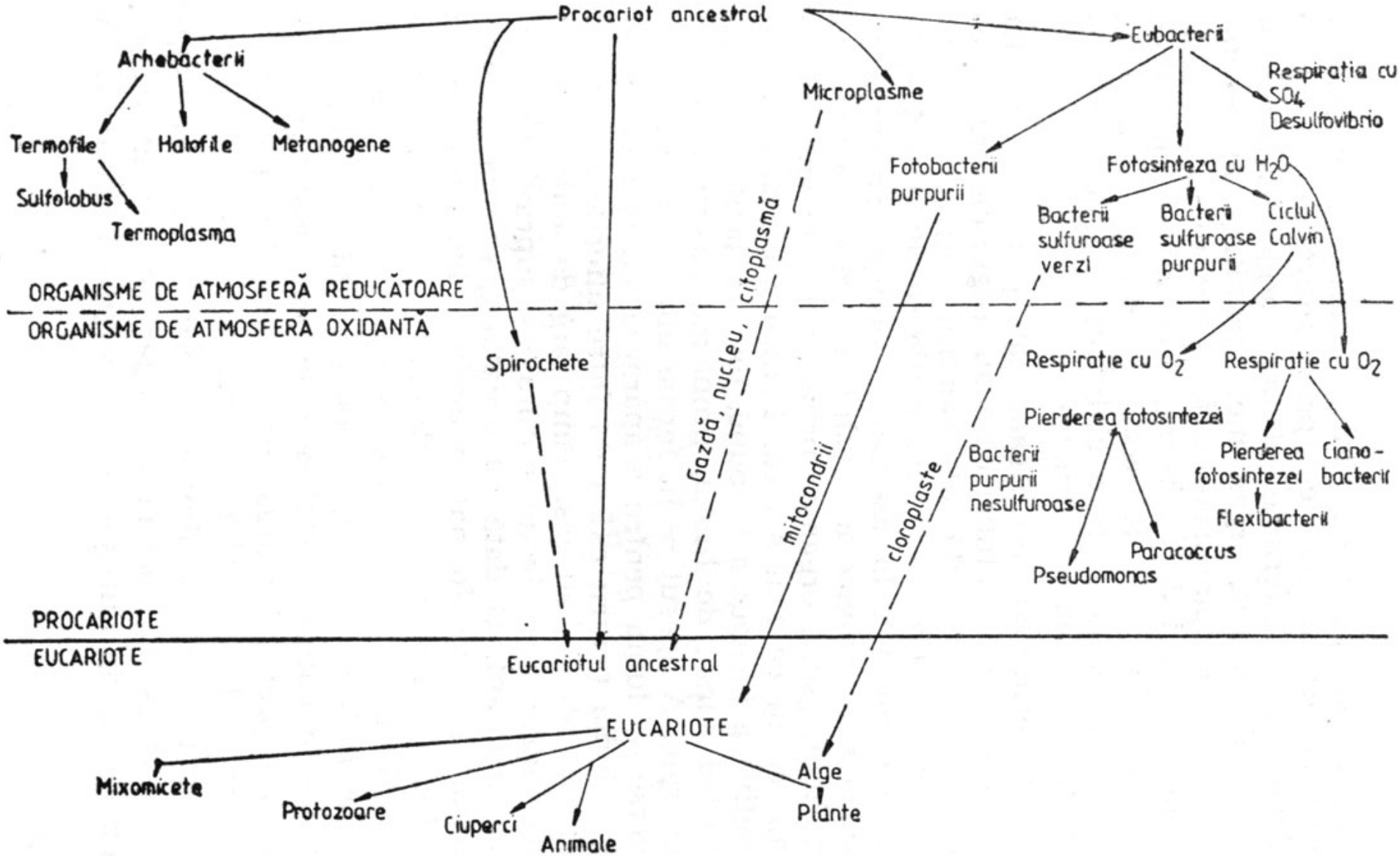
redusă, conținînd deci cantități variabile de energie liberabilă în urma proceselor de ardere, de oxidare. De fapt, în perioada inițială, cea mai mare parte a carbonului se află probabil în formele sale cele mai reduse, adică sub formă de combinații între carbon și hidrogen (hidrocarburi).

Atunci cînd evoluția chimică lentă s-a încheiat cu apariția primelor celule-organism (din grupa așanumitelor arhebacterii, bacterii străvechi care mai numără azi reprezentanți în lumea vie de pe Terra), o varietate nemaiîntîlnită de compuși ai carbonului — de la formele cele mai reduse (metan, și alte hidrocarburi), la forma complet oxidată, dioxid de carbon — și-au făcut apariția pe planeta Pămînt (fig. 1). Atomii de carbon, sub influența viețuitoarelor, au început să parcurgă lanțuri lungi de procese complicate, neexistente pe alte planete. Oxidînd carbonul din hidrocarburi și alte combinații, noua-apărutele viețuitoare își obțineau energia necesară construirii și întreținerii complicatei arhitecturi a corpului. Reducînd alți compuși ai carbonului, primele organisme obțineau oxigenul necesar arderii unor hidrocarburi pînă la dioxid de carbon, obțineau lanțuri de carbon redus, necesare edificării structurilor organice specifice. Iată de ce viața ne apare ca o complicație apărută în circuitul carbonului pe planeta Pămînt.

2. Prima criză energetică: acum 3 miliarde de ani!

„petrolul, frații mei, este nervul vital"
G.A. Nasser

Procesele chimice desfășurate pe Terra primitivă au acumulat o cantitate foarte mare de com-


Procariot ancestral
Arhebacterii
Termofile
Halofile
Metanogene
Sulfolobus
Termoplasma
Microplasme
Eubacterii
Respiratia cu SO4
Desulfovibrio
Fotobacterii purpurii
Fotosinteza cu H2O
Bacterii sulfuroase verzi
Bacterii sulfuroase purpurii
Ciclul Calvin
ORGANISME DE ATMOSFERĂ REDUCĂTOARE
ORGANISME DE ATMOSFERĂ OXIDANTĂ
Spirochete
Gazdă, nucleu, citoplasmă
mitocondrii
cloroplaste
Respiratie cu O2
Respiratie cu O2
Pierderea fotosintezei
Bacterii purpurii nesulfuroase
Pierderea fotosintezei
Cianobacterii
Flexibacterii
Paracoccus
Pseudomonas
PROCARIOTE
EUCARIOTE
Eucariotul ancestral
EUCARIOTE
Mixomicete
Protozoare
Ciuperci
Animale
Alge
Plante

puși organici, „supa organică primitivă", capabilă să susțină dezvoltarea vieții prin cantitățile de energie depozitate în diferitele substanțe organice. Din acest punct de vedere, organismele primitive (arhebacteriile) nu se comportau altfel decît totalitatea animalelor de azi de pe Terra, decît marea majoritate a bacteriilor, care folosesc, în prezent, în nutriție, substanțe organice gata elaborate, din cele mai diferite provenienței și structuri.

Bacteriile au însă o capacitate practic nelimitată de a se înmulți atunci cînd au asigurată hrana necesară și nu există alte condiții potrivnice multiplicării lor (în medie, bacteriile se divid o dată la 20 de minute). În asemenea condiții consumul de substanțe organice a devenit din ce în ce mai important, „supa organică primitivă" a început să fie din ce în ce mai săracă. Pentru viețuitoarele primitive a început a se pune, tot mai acut, problema găsirii sursei de hrană, problema găsirii sursei de energie. A apărut — în forme din ce în ce mai diverse — lupta pentru acapararea surselor de energie, lupta pentru existență între diferitele categorii de viețuitoare, au găsit cîmp larg de aplicare legile darwiniste ale selecției naturale și supraviețuirii celui mai apt. O dată cu aceasta „evoluția chimică lentă" s-a transformat în evoluție biologică. Dintre diferitele forme de arhebacterii au început a se înmulți numai acelea care reușeau să utilizeze mai ușor, în folos propriu, diverse condiții concrete existente în natură, restul piereau, iar substanța organică a propriului organism era reutilizată ca sursă de hrană de către alte bacterii.

Treptat-treptat, dintre bacterii, unele s-au adaptat a ataca și consuma alte organisme vii: modul de existență, de nutriție s-au diversificat. Probabil că

tot din această perioadă datează și unele forme prebiotice, acizi nucleici capabili să se introducă în celulele vii, modificîndu-le procesele metabolice astfel încît, acestea, în loc să-și dezvolte propriul program ereditar, să reproducă proteina și acidul nucleic al intrusului. Sînt virusurile, adaptate în primul rînd la parazitarea bacteriilor (bacteriofagi), apoi la parazitarea tuturor celorlalte grupe de viețuitoare.

Cîtă vreme viața se limita însă la utilizarea și reutilizarea aceleiași surse de energie — cea înmagazinată în compuși organici acumulați în perioada anterioară apariției vieții pe Pămînt — evident că problema rămînea nerezolvată, energia urmînd a se împuțina din ce în ce mai mult, pînă la totala epuizare — și, o dată cu ea, avea să dispară și viața pe Pămînt. Era nevoie de altă sursă de energie, una inepuizabilă însă. O astfel de sursă de energie, epuizabilă numai într-o perioadă foarte îndelungată (chiar în raport cu unitățile de măsură folosite de geologi sau astronomi) era energia luminoasă furnizată de soare. Pe Terra au apărut deci bacterii, conținînd în celulele lor un pigment verde și capabile a folosi în metabolism energia razelor solare. Pigmentul verde era clorofila bacteriană (bacterioclorofila), iar lumina solară era utilizată pentru a descompune o substanță organică bogată în hidrogen, eliberînd hidrogenul activat:

$$H_2A \xrightarrow[\text{lumină solară}]{\text{bacterioclorofila}} A + 2H.$$

Hidrogenul activat era apoi folosit pentru a reduce dioxidul de carbon formîndu-se compuși or-

ganici utilizați în metabolism de strămoșii acestor organisme:

$$nCO_2 + nH_2 \rightarrow nH_2CO.$$

Era o primă revoluție în lumea vie, apariția unor viețuitoare capabile de a se hrăni independent de substanța organică acumulată anterior în mediu (organisme autotrofe). Aceste organisme foloseau (și folosesc încă și azi) lumina în metabolism, fiind deci autotrofe fototrofe.

O substanță donatoare de hidrogen, ușor de utilizat și aflată în mediul înconjurător în cantitate mare, era hidrogenul sulfurat:

$$H_2S \xrightarrow[\text{bacterioclorofilă}]{\text{lumină solară}} S + 2H.$$

Prin activitatea bacteriilor sulfuroase, printre cele mai vechi organisme autotrofe de pe glob, s-au format depozite de sulf (în Sicilia, la noi în munții Căliman).

Hidrogenul sulfurat și sărurile acestuia (sulfurile) nu erau totuși disponibile în cantități nelimitate, era nevoie de un alt donor de hidrogen, aflat în cantități mai mari pe Terra și acesta a fost găsit în substanța cea mai banală, apa. Astfel a apărut modul de nutriție caracteristic plantelor verzi, fotosinteza, pe baza „reacției Hill" (numită astfel după descoperitorul său): fotoliza (ruperea) unei molecule de apă în prezența clorofilei și a patru cuante de energie luminoasă, hidrogenul format servind la reducerea dioxidului de carbon, iar oxigenul rezultat degajîndu-se în atmosferă. Acest mod de nutriție, tipic plantelor verzi, a apărut acum 1,5 miliarde de ani și el a schimbat integral înfățișarea planetei noastre. Treptat-treptat, suprafața acesteia s-a acoperit cu un înveliș verde, folosind tot mai

complet oceanul de lumină în care se scălda, atmosfera în care dominau hidrogenul, metanul și alte substanțe reduse a căpătat, în linii mari, înfățișarea actuală, în care oxigenul domină prin reactivitate și proporții. Organismele au trebuit să se adapteze acestei schimbări. Ele trăiau mai înainte într-o atmosferă reducătoare, oxigenul fiind absolut necesar vieții (numai prin oxidarea substanței organice se putea obține energia vitală), dar el fiind utilizat numai sub forma unor compuși, realizîndu-se simple transferuri de atomi de oxigen între moleculele organice, o moleculă reducîndu-se (sărăcind în oxigen), alta, paralel, oxidîndu-se. Pentru aceste organisme vechi oxigenul era (și este) un gaz toxic, prezența sa în atmosferă provocînd formarea unor otrăvuri (peroxizi). Pe măsură ce atmosfera devenea tot mai bogată în oxigen, frecvența acestor organisme ce nu suportă oxigenul liber (anaerobe) a trebuit să se restrîngă la unele medii speciale (zone mlăștinoase, ape stagnante) în care oxigenul nu avea acces. Au apărut organisme capabile să producă o clasă specială de substanțe conținînd fier (pigmenți porfirinici), cu ajutorul cărora descompuneau peroxizii făcîndu-i inofensivi. Această grupă de organisme aerobe s-a extins devenind preponderentă. Organismele s-au diversificat tot mai mult. Cele autotrofe folosesc energia luminoasă pentru a reduce dioxidul de carbon și a produce substanță organică (autotrofe, holofite). Alte organisme au apucat calea modului de nutriție tipic animal, holozoic, folosind în nutriție organismele holofitice. Altele s-au specializat în reciclarea tuturor deșeurilor produse de celelalte organisme în cursul vieții sau a cadavrelor acestora, folosind substanța organică și oxidînd-o pînă la dioxid de carbon, moment în care circuitul se închide.

Diversificarea lumii vii a exacerbat lupta pentru existență, adaptarea cît mai perfectă la condițiile unui mediu în continuă modificare fiind o condiție indispensabilă a supraviețuirii. Adaptarea presupunînd însă o continuă variație a însușirilor, o continuă modificare a „programului ereditar" înscris în acizii nucleici, a apărut, drept urmare, sexualitatea, ca mijloc de a produce continuu modificări ale eredității, prin combinarea caracterelor moștenite de la mamă și de la tată.

Materialul ereditar a început a fi izolat de mediul celular într-o formație specială — nucleul —, delimitat de o membrană. Au apărut astfel eucariotele, organisme cu nucleul veritabil, în opoziție cu procariotele, la care materialul ce transmite însușirile ereditare este amplasat difuz în celulă.

În această lume în continuă transformare, alături de organismele mai vechi, al căror corp era alcătuit dintr-o singură celulă, au apărut plante și animale cu corpul format din numeroase celule, unele adevărați giganți. Modul de hrană al tuturor acestor viețuitoare s-a diversificat enorm. La temelia vieții continuau a se afla organismele fototrofe vegetale, singurele capabile să folosească lumina ca sursă de energie, producînd substanța organică pentru tot restul lumii vii. S-a dezvoltat apoi o categorie de animale — erbivorele — care se hrăneau cu plante, apoi încă una de viețuitoare ce folosesc animalele erbivore în nutriție (carnivorele). Toate aceste categorii de viețuitoare aveau proprii lor paraziți, iar aceștia, la rîndul lor — paraziți ai paraziților (hiperparaziți). În final, o multitudine de microorganisme asigurau utilizarea deșeurilor tuturor categoriilor de viețuitoare, transformînd din nou materia organică pînă la compuși minerali — apa și dioxidul de carbon — de la care începe marea a-

ventură a vieții. Se alcătuiesc astfel ceea ce ecologul Elton a numit inspirat „piramide de nutriție" („piramide trofice").

Expuse agresiunilor de tot felul, viețuitoarele au trebuit să-și caute mijloace de apărare. Subtilul ironist care a fost Bernard Shaw se referă într-una din piesele sale (*Nu se știe niciodată*) la o problemă similară: cea care s-a pus pașnicelor vase comerciale cînd pirații și le-au înzestrat pe ale lor cu tunuri. Cei ce se apărau au construit deci nave suficient de groase spre a rezista ghiulelelor, au apărut deci „primele cuirasate". Apoi, însă, atacatorii au construit tunuri mai puternice, capabile să le perforeze pe cele comerciale... S-au construit după aceea cuirase mai groase, tunuri mai puternice etc., etc.

Viețuitoarele, mai ales cele mai expuse dintre ele, plantele, și-au construit așadar „cuirase naturale" care erau însă alcătuite... din zaharuri cu moleculă foarte mare, insolubile în apă: celulozele!

Microorganismele primitive, ca și animalele, posedau „tunuri" (enzimele) capabile să sfarme și să introducă în metabolismul propriu substanțele solubile în apă. Cuirasa de celuloză rămînea însă inatacabilă și, o dată cu ea — plantele ascunse după pereții celulozici.

Celulozele au început să cîștige tot mai mult teren în lumea vie (și astăzi reprezintă cea mai răspîndită categorie de substanțe pe care o sintetizează viețuitoarele de pe glob). Situația nu putea dura, căci altfel cantități tot mai mari de carbon s-ar fi acumulat sub formă de celuloză fiind sustrase utilizării și reutilizării în marele circuit al vieții.

Au apărut deci bacterii și ciuperci capabile să utilizeze celuloza (microorganisme celulolitice). Aces-

tea dispuneau de o clasă nouă de „tunuri", de enzime — celulazele. Pentru majoritatea enzimelor este nevoie ca produsul pe care îl digeră să se dizolve în apă și o dată cu aceasta să difuzeze în celulă, ajungînd la centrii activi. Celulozele, fiind insolubile, microorganismele au dezvoltat enzime solubile, care, difuzînd cu apa, ajung la celuloza pe care încep a o descompune. Prin parțială descompunere, celuloza generează un zahăr mai simplu (celobioza), care se dizolvă în apă și pătrunde în celulele microbiene, fiind folosit de acestea în hrană.

Agenții descompunerii celulozei sînt microorganisme care se dezvoltă la temperatura normală a mediului ambiant (cel mai bine, la 30°C), sau microorganisme adaptate să trăiască la temperaturi ridicate (termofile), dezvoltîndu-se optim la 70°C (se pare, descendenți ai organismelor primitive, care trăind în Oceanul ancestral, fierbinte, erau adaptate să reziste la temperaturi foarte ridicate). Stetter (1982) a reușit să cultive procariote vulcanice anaerobe (foarte sensibile la oxigen) în prezența sulfului, hidrogenului elementar și dioxidului de carbon, la temperaturi de peste 80°C (optim la 105°C). Expediții efectuate în zona vulcanilor suboceanici au evidențiat organisme (chiar viermi giganți cu talie peste 1 m) care rezistă la temperaturi foarte ridicate.

În orice caz, printre organismele celulolitice — termofile sau mezofile — sînt atît bacterii, cît și ciuperci.

Cele mai vechi ciuperci nu sînt capabile să folosească în hrană celuloza. Clasa relativ mai nouă a ascomicetelor cuprinde însă numeroase specii celulolitice.

Numeroase microorganisme celulolitice au căpătat însușirea de a trăi în corpul animalelor erbivore (mamifere, termite și chiar unele protozoare monocelulare) incapabile să digere singure celuloza. În stomacul rumegătoarelor se găsesc cantități imense de astfel de microorganisme și numai grație lor aceste animale se pot hrăni cu celuloza din plante. Este o asociație din care ambii parteneri trag foloase: microorganismele au asigurate, în corpul rumegătoarelor, condiții optime de viață (temperatură, umiditate etc.), rumegătoarele folosesc cantități foarte mari de substanțe nutritive eliberate din celulozele vegetale de către enzimele microbiene. Acest tip de asociație se numește simbioză și descoperirea ei a făcut deosebită plăcere adversarilor darwinismului. Admiratorii întîrziați ai lui Jean Jacques Rousseau, pătrunși de dragoste pentru veșnica natură, neîntinată de răutățile omenești, nu puteau admite că în realitate acesta era un necruțător „război al tuturor împotriva tuturor", după expresia scepticului englez Hobbes, reluată de Darwin sub forma nu mai puțin celebrei „lupte pentru existență". Sentimentalul prinț anarhist Kropotkin s-a și grăbit să scrie o carte, *Într-ajutorarea*, în care afirma că aceasta este esența lumii vii și nu sumbrul tablou zugrăvit de părintele evoluționismului. Faptele însă s-au grăbit să-l dezmintă: pînă și simbioza, analizată mai atent, s-a dovedit a nu fi decît un vulgar parazitism reciproc între parteneri (alleloparazitism), fiecare străduindu-se să obțină cît mai mult de la celălalt, neezitînd să-l suprime atunci cînd interesele proprii cereau astfel (rumegătoarele digeră frecvent bacteriile celulolitice din rumen completîndu-și necesarul de aminoacizi).

Tabelul 1

Grupele de ciuperci prezente în sol și structura peretelui

Grupul taxonomic	Genuri reprezentative	Tipul peretelui celular
Acrasiomycetes	Dictyostelium	celuloză-glicogen
Tomycetes	Phytophtora, Pythium Saprolegnia	celuloză-betaglucan
Hyphochitridiomycetes	Rhizidomyces	celuloză-chitina
Zigomycetes	Mucor, Phycomyces	chitina-chitozan
Chytridiomycetes, Ascomycetes, Deuteromycetes	Albomyces, Aleurospora	chitina-betaglucan
Ascomycetes	Schizophillum, Polyporus	manan-betaglucan
Bazidiomycetes	Saccharomyces, Candida	chitină, manani
Trichomycetes	Sporobolomyces, Rhodotorula, Amoebidium	galactozamină, galactoză, polimeri

O dată cu apariția celulazelor însă, organismele vegetale nu mai erau la adăpost de agresiunea animalelor erbivore sau de cea a paraziților. Era nevoie de cuirase mai puternice și ele au fost obținute prin complicarea pereților celulelor diferitelor grupe de organisme vii (în tabelul 1 se dau, ca exemplu, ciupercile). O dată cu aceasta s-a dezvoltat și lumea organismelor conținînd enzimele necesare ruperii cuiraselor (în figura 2 se dă ca exemplu lumea ciupercilor microscopice din sol, foarte active în acest proces).

Pînă acum aventura vieții s-a desfășurat în mediul acvatic, dar ultima achiziție a lumii vegetale au constituit-o ligninele (componente foarte complicate ca structură, caracteristice plantelor cu flori).

Acum uscatul va înceta a fi un domeniu pur mineral, ostil vieții: ligninele, a doua clasă de compuși organici (25% din greutatea vegetației ierboase și 30% din cea a plantelor lemnoase) sînt descompuse greu, dar prin degradare generează compuși închiși la culoare — compușii huminici, care au transformat rocile sterile în strat fertil de sol, apt a susține creșterea vegetației cu flori, care a cucerit o zonă nouă, liberă de concurenți, dobîndind astfel o extraordinară expansiune. Tot pe uscat s-au dezvoltat și ciupercile capabile să descompună ligninele.

Lumea s-a modificat definitiv devenind tot mai asemănătoare cu cea pe care o cunoaștem azi, evenimentele cele mai spectaculoase ale evoluției vieții transferîndu-se pe uscat. Prin urmare, viața a devenit posibilă pe Pămînt pentru că acesta conținea elementul cu greutatea atomică 12: carbonul. Acesta a generat, printr-o serie lungă de procese chimice, numeroase combinații, mai mult sau mai puțin reduse, de la hidrocarburi pînă la aminoacizi și acizi nucleici (substanțe organice). O parte a acestora a putut genera, prin „evoluție chimică lentă", primele viețuitoare, care au evoluat folosind ca sursă de energie oxidarea rezervei de substanțe organice de pe Terra, producînd astfel cantități crescînde de dioxid de carbon. O dată cu aceasta și paralel cu sărăcirea Pămîntului în substanțe organice, primele viețuitoare au generat, prin evoluție biologică, organismele fotosintetizante, care folosesc în nutriție energia luminoasă și dioxidul de carbon. Viața s-a putut perpetua datorită faptului că rezerva de carbon de pe Terra a fost folosită permanent ciclic, unele viețuitoare (plantele) aducînd-o sub formă organică, altele mineralizînd compușii organici. Eterna

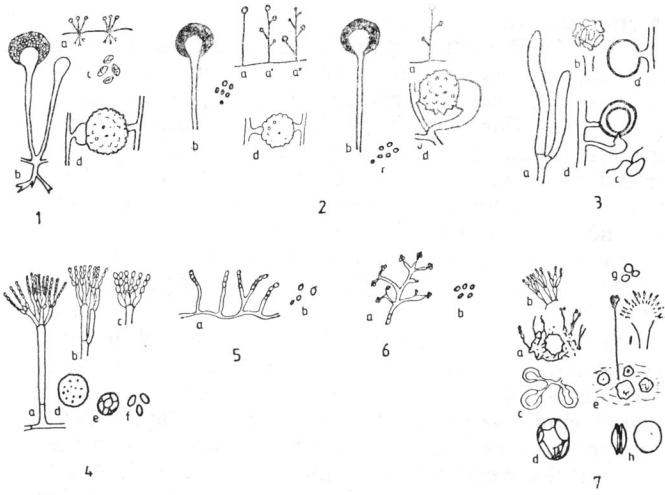
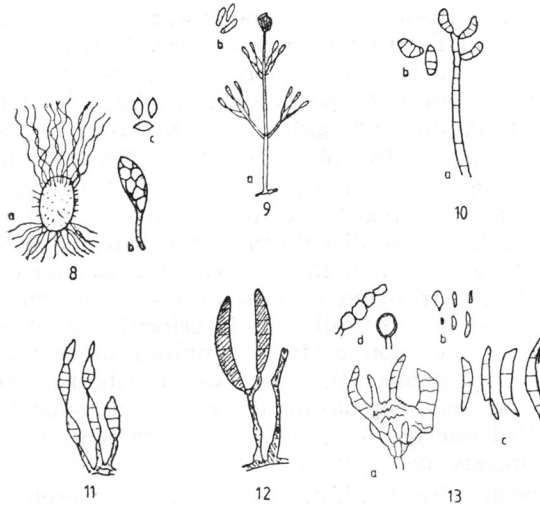


Fig. 2. Principalele ciuperci din sol

1 — *Rhizopus*: a) habitus; b) sporangiofor; c) sporangiospori; d) zigospori
2 — *Mucor*: a, b, c) habitus; d) sporangiospori; e) zigospori
3 — *Pythium*: a) sporangi; c) zoospori; d) oogoane
4 — *Penicillium*: a, b, c) conidiofori; d) cleistotecii; e) asce; f) ascospori
5 — *Geotrichum*: a) habitusul conidial; b) conidii

reîntoarcere a atomilor de carbon la forma minerală este însăşi condiţia perpetuării vieţii! S-a calculat că fără activitatea microorganismelor care mineralizează toate deşeurile vieţuitoarelor, reînnoind rezerva de dioxid de carbon a atmosferei, aceasta ar fi consumată integral în 35 de ani şi viaţa ar înceta.

În orice organism creşterea şi dezvoltarea presupun realizarea unor structuri strict determinate de programul său ereditar. Realizarea acestei arhitec-



6 — *Trichoderma*: a) conidiofori; b) conidii
7 — *Aspergillus*: a, c) habitus; b) fialide; d) asce; f) fructificații
8 — *Chaetonium*: a) peritecii; b) asce; c) ascospori
9 — *Verticillium*: a) conidiofori; b) conidii
10 — *Curvularia*: a) conidiofori; b) conidii
11 — *Alternaria*
12 — *Helminthosporium*
13 — *Fusarium*: b) microconidii; c) macroconidii; d) clamidospori

turi specifice înseamnă sinteza unor compuși organici, a unor substanțe care înmagazinează energie. De aceea s-a spus că, spre deosebire de lumea anorganică, la care sensul evoluției este de la niveluri mai ridicate de energie la niveluri mai scăzute, lumea vie evoluează de la niveluri mai scăzute de energie spre niveluri mai ridicate (evoluție antientropică). S-a vorbit chiar despre inaplicabilitatea principiului al doilea al termodinamicii la lumea vie.

Realitatea este însă alta: creșterea nivelului energetic în organismul viu are loc paralel cu o scădere mai drastică a nivelului energetic în mediul său de viață, sensul de evoluție al sistemului fiind tot spre scăderea nivelului energetic, adică în deplină concordanță cu principiul al doilea al termodinamicii. Viața preia astăzi energia din oceanul de lumină în care planeta noastră este scăldată cu generozitate de către soare. Tendința fiecărui organism este de a reține o cît mai mare parte din această energie în folosul propriu și, mai ales — a o conserva cît mai mult timp posibil în interiorul său. Acestei tendințe îi se opune însă tendința ansamblului lumii vii (a biosferei), aceea de a asigura o circulație cît mai rapidă a carbonului ca suport, ca vehicul al energiei — astfel încît acesta să fie utilizat succesiv de cît mai multe viețuitoare.

În zadarnica tendință de a asigura perenitatea propriilor structuri, organismele au inventat „cuirase" tot mai perfecționate, din substanțe tot mai greu de descompus de către enzimele celorlalte viețuitoare. Capacitatea unei substanțe de a fi descompusă de către organismele vii se numește biodegradibilitate, iar stabilitatea sa specifică (legată de o anumită structură chimică) se numește „recalcitranță moleculară". Printre cele mai recalcitrante substanțe se numără ligninele.

Substanțele humice, provenite din transformarea ligninelor sub acțiunea microorganismelor sînt, de asemenea, relativ recalcitrante la descompunere, vîrsta celor mai stabile (așa-numiții acizi humici din cernoziomuri) numărîndu-se în mii de ani. Recalcitranța nu se datorește, uneori, structurii chimice ci condițiilor de mediu: semințele găsite în piramidele Egiptului faraonic au germinat după mii de

ani datorită păstrării lor în atmosferă uscată; lemnul și alte resturi vegetale se conservă în mlaștini datorită lipsei aerului etc.

Datorită structurii lui, prezenței substanțelor humice, ca și populării sale cu foarte numeroase și diverse viețuitoare (cîteva miliarde/g), solul se comportă ca un adevărat organism viu. Substanțele humice au în sol un rol multiplu. Ele îi asigură o structură fizico-mecanică reprezentată de particule organominerale de diverse dimensiuni. Acțiunea de cimentare a substanțelor humice nu permite apei și vîntului să sfărîme aceste agregate organominerale, transformîndu-le în praf. Între agregatele de sol se formează un spațiu poros, care permite pămîntului să înmagazineze apa și aerul necesare deopotrivă creșterii plantelor. De aceea, cu cît un sol are o structură fizico-mecanică mai bună, permite o dezvoltare mai bună a plantelor, recolte mai abundente.

Procentul de humus și raportul dintre carbon și azot în molecula humică sînt relativ constante pentru un sol. Ele se modifică în perioade relativ lungi de timp sub influența unor măsuri, cum ar fi fertilizarea organică — Riemvis (1984) consideră că aplicarea composturilor sporește cu 0,2% anual humusul din sol.

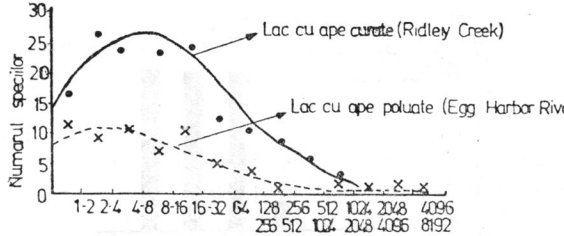
Materia organică din sol — ca purtătoare de energie — determină existența în sol a unei populații abundente și variate, structurată într-un mod caracteristic fiecărui sol. Aceasta este biostructura solului, mai importantă chiar pentru fertilitatea sa decît structura sa fizico-mecanică (Ghinea, 1975).

Biostructura solului este determinată prin complicate relații ce se stabilesc între diferitele categorii de viețuitoare. În pămînt, în mod obișnuit există puține substanțe organice în afara celor proprii so-

lului (și care formează așa-numitul humus). În acest caz, biomasa totală a solului variază proporțional cu procentul de humus din sol, iar biostructura cuprinde un număr mare de specii, fiecare reprezentată de relativ puțin indivizi. Dimpotrivă, dacă în pămînt este introdusă o cantitate mare de substanță organică ușor de metabolizat, în sol se înmulțesc numai cîteva specii de organisme, dar fiecare pînă la un număr foarte mare de indivizi, astfel încît biomasa totală depășește cu mult pe cea a solului fără substanță organică. Aceasta este o lege naturală cu caracter general (principiul lui Thinemann). De aceea, în jurul rădăcinilor (în rizosferă), unde substanțele organice ușor de descompus sînt cu regularitate eliminate de către plante, populația solului este mult mai puțin diversă, dar mult mai numeroasă. În figura 3 se poate vedea că, în mod similar, într-o apă curată există mai multe specii de microorganisme (fiecare reprezentată printr-un număr mic de indivizi) decît într-o apă poluată, conținînd substanțe organice.

Numărul de indivizi prin care o specie este reprezentată în mediul natural depinde de capacitatea sa competitivă, de capacitatea de a concura celelalte specii. Capacitatea competitivă la rîndul său este dată de:

— prezența sa tocmai atunci cînd mediul natural devine favorabil vieții sale, condiție mai ușor de îndeplinit de către organismele ce se înmulțesc mai rapid, de speciile cu mare răspîndire (deși acestea pierd mulți indivizi dispersați în zone cu mediu neprielnic supraviețuirii) și care sînt orientabile prin tactism (atracție față de un element de mediu — spre exemplu *Pseudomonas* are un aerotropism pozitiv);



3. Relații între gradul de poluare al unei ape și populația microbiană

— capacitatea de supraviețuire la condițiile nefavorabile de mediu (mai mare la organismele care formează spori, chisturi etc.);

— un metabolism simplu, care necesită cît mai puține elemente din mediul ambiant (cu cît numărul acestora este mai mic și sînt calitativ mai simple, crește șansa de a se găsi simultan în mediu);

— capacitatea de a tolera mari variații ale factorilor fizici din mediu — spre exemplu, într-un sol acid cresc numai actinomicetele care suportă valori scăzute de pH, în timp ce într-un sol neutru cresc și acestea, și cele netolerante la pH acid (fig. 4);

— capacitatea de a străbate mecanismele de rezistență mecanică a mediului;

— producerea unor structuri speciale de fixare pe suportul de pe care alte organisme sînt eliminate — cazul algelor ce se fixează pe stînca goală;

— capacitatea de a învinge rezistența microorganismelor deja prezente în mediu; în mod normal microorganismele parazite pe plante, animale etc., nu au această capacitate (cazul ciupercilor fitoparazite *Ophiobolus graminis* și *Helminthosporium sativum* sau al bacteriei *Streptococus* sp., parazită la om sau la alte mamifere; în figura 5 se poate

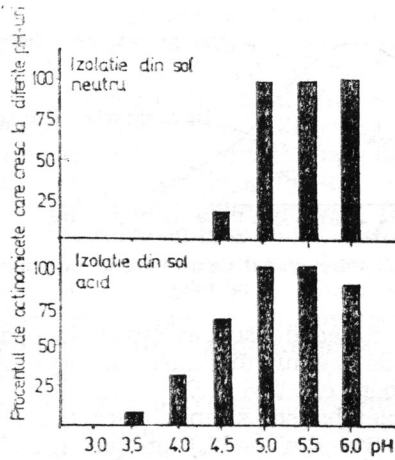


Fig. 4. Procentul de actinomicete izolate dintr-un sol acid şi altul neutru care tolerează pH diferite

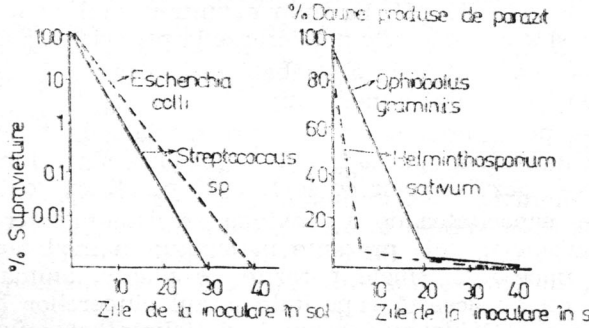


Fig. 5. Supravieţuirea în sol a microorganismelor exogene inoculate

observa că, într-un timp relativ scurt, nu numai acești paraziți ci și bacteria facultativ parazită *Escherichia coli* sînt eliminați dintr-un sol normal); acest fenomen de eliminare din sol al unor microorganisme străine se numește autopurificarea solului.

Datorită autopurificării încercările omului de a dirija, în sensul voit, procesele microbiene ce se petrec în sol au fost totdeauna urmate de eșecuri. Iată opinia celebrului specialist american în ecologia solului, Martin Alexander (1971): „printre eșecurile încercărilor de a altera o comunitate heterogenă prin inoculări directe sînt următoarele:

— aplicarea pe sol sau pe semințe a bacteriilor fixatoare de azot — *Azotobacter;*

— aplicarea la sol sau pe semințe a tulpinilor de *Bacillus megaterium;*

— inocularea în sol a microorganismelor producătoare de antibiotice sau litice, pentru a controla patogenii plantelor ce provin din sol... Unele succese au fost raportate, dar ele sînt așa de neobișnuite în raport cu eșecurile, încît trebuie considerate îndoielnice, tranzitorii sau marginale".

Dimpotrivă, încercările de implantare reușesc atunci cînd organismele transferate de către om nu au de a face cu o microfloră concurentă.

Rezultate deosebit de favorabile au obținut Ghiliarov și Perel (1984) prin introducerea rîmelor (de mare utilitate pentru agricultură) în solurile în care acestea lipsesc în mod natural, dar în care se creează condiții aclimatizării lor. Speciile aclimatizabile ar fi:

1) în oazele irigate prin puțuri arteziene sau pe canalul Karakum: *Nicodelus caliginosus, N. roseus* f. *phrashdi;*

2) în grădinile din Alatau — *Eisenia djungarica;*
3) în regiunile semiîmpădurite de la marginea subdeșertului Ural — *Eisenia nordenskoldi.*

Datorită lipsei efectului microfaunei concurente nu este permis, în biologia solului, a se lucra cu o singură specie. Astfel de studii (autoecologice) se întreprind numai în cazuri speciale, regula fiind a se lucra în prezența întregii populații a solului normal (studii sinecologice).

Acesta este principiul ecologic al lui Winogradski, o strălucită aplicare a darwinismului la domeniul biologiei solului.

În natură organismele pot avea între ele relații indiferente (neutralism), ceea ce semnifică în fapt absența oricărei interrelații, relații de avantaj unilateral (comensalism) sau reciproc (protocooperare și simbioză), de stînjenire (competiție, comensalism, parazitism, prădare).

Cunoașterea relațiilor între diferitele organisme permite manipularea lor în interesul omului. Astfel, semințele pot fi protejate de paraziții lor din sol prin pralinare cu microorganisme antagoniste. Kunda și Nandi (1984) au demonstrat că pralinînd semințele de conopidă cu o suspensie de actinomicete (15 000/ml), antagoniste față de *Rhizoctonia solani,* este împiedicat atacul acestei ciuperci parazite.

O metodă deosebit de interesantă propun van der Bogert și Jager (1983): preinocularea solului tocmai cu miceliul ciupercii parazite *R. solani,* ceea ce are ca efect acumularea de paraziți ai acesteia (hiperparaziți) — în special *Verticillium bigutatum* — și scăderea gradului de infecție.

Raportul între paraziți și hiperparaziți depinde de condițiile de mediu: unele tulpini de *Azotobacter chrooccocum* pot preveni pagubele produse de *R. so-*

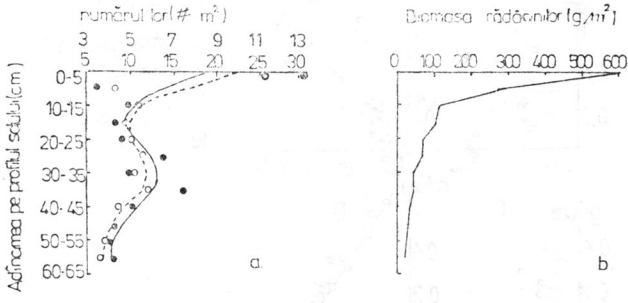


Fig. 6. Distribuția microartropodelor și rădăcinilor pe profilul solului

lani, dacă în sol temperatura este sub 15°C, dar nu și peste această limită (Mesham și Jager, 1983).

Un procedeu larg întrebuințat, pentru dirijarea în folosul omului a raporturilor între paraziți și hiperparaziți, îl constituie fertilizarea diferențiată. Sohlenius și Boström (1984) au arătat în acest sens că, imediat după încorporarea în sol a paielor, proliferează bacterii care se hrănesc cu zaharurile simple, mai ușor de descompus. Flora bacteriană este consumată de nematozi bacteriovori, în special *Rhabditis* (Sohlenius și Boström, 1984; Lucyne Vasilewska și Bienkowski, 1985).

Atunci cînd se trece la descompunerea celulozei se înmulțesc ciuperci ca *Trichoderma, Chaetomium, Fusarium,* urmate de bazidiomicete care consumă lignine (Rothamsted Exp. Sta. Reptr., 1986) și o dată cu acestea și nematodele fungivore. Datorită dependenței indirecte de resturile vegetale nematozii se înmulțesc corelat cu creșterea rădăcinii (fig. 6).

În descompunerea resturilor vegetale joacă un rol și rîmele (Ullalena Boström și Astrid Lofs-Hol-

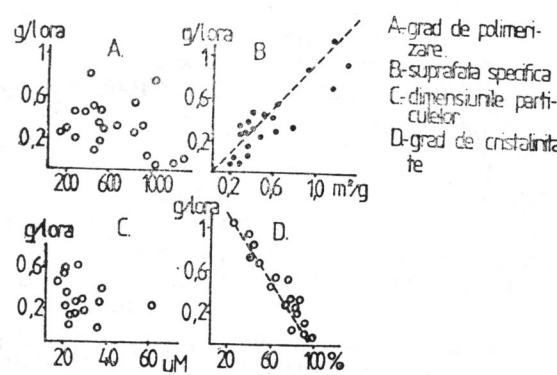


Fig. 7. Creşterea parametrilor de structură ai celulozei cu reactivitatea sa

min, 1986). De aceea mulcirea cu paie duce la înmulţirea rîmelor (Sequi şi Giovannini, 1975); Boyce-Jansen, 1985) şi la îmbunătăţirea însuşirilor agronomice ale solurilor (Altavianite şi Zimcuviene, 1985; Shaw şi Pawluk, 1986). Rîmele folosesc şi ele ciupercile din sol în nutriţie (Rothamsted Exp. Sta. Reptr., 1985).

În sol se incorporează anual 88,5 milioane tone paie de cereale, 55 milioane tone deşeuri de trestie de zahăr, 30 milioane tone stuf, 6 milioane tone scoarţă de copaci, 5 milioane tone resturi de papirus, aproape 1 milion tone de frunze (Rugină, 1985). Aceste cifre s-ar putea diminua în viitor prin colectarea deşeurilor în vederea extragerii celulozei sau a utilizării la fabricarea glucozei şi alcoolului. Viteza reciclării acestor resurse energetice depinde de condiţiile climatice: timpul de înjumătăţire a cantităţii paielor de grîu a variat între 9 zile în

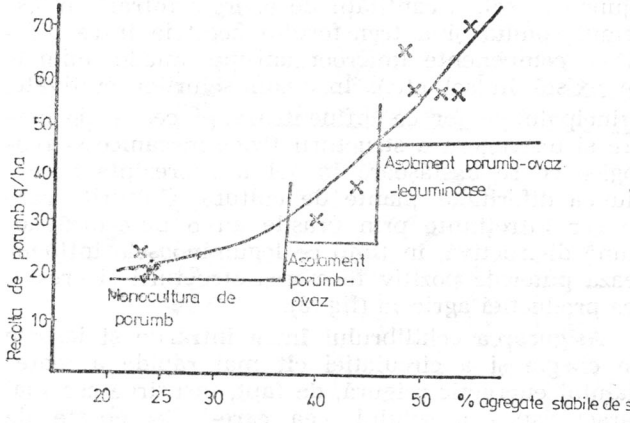


Fig. 8. Efectul asolamentului asupra agregării solului și producției de porumb

condiții optime de laborator și 160 zile în zona rece (Saskatown din Canada, Voronej ș.a., 1981).

Microflora consumă prin respirație 90% din litiera pădurilor de foioase, ea reprezentînd 85% din masa celulolitică; microfauna consumă pentru respirație 10%, constituind 15% din biomasă.

Viteza descompunerii celulozei se dublează la fiecare creștere cu 10°C a temperaturii, pînă ce se atinge temperatura optimă de creștere a organismelor celulolitice, 30°C (Parikov ș.a., 1984). Degradarea celulozei este influențată de suprafața specifică, adică de suprafața care vine în contact cu enzimele ce o descompun. Cu cît celuloza este mai cristalină ea rezistă mai bine degradării (fig.7).

Structura solului (fizico-mecanică și biologică) este o funcție a cantității de material organic ce

ajunge în sol, a cantității de energie intrată în sistemul solului și a transferului acesteia între diferitele componente (microorganisme, micile animale ce există în sol etc.). În cazul solurilor cultivate, principalul factor ce influențează procesele de creare și distrugere a structurii fizico-mecanice și biologice ce se desfășoară în sol îl reprezintă succesiunea diferitelor plante de cultură. Culturile care se cer întreținute prin prașile au o puternică acțiune distructivă, în timp ce leguminoasele influențează puternic pozitiv formarea structurii și creșterea producției agricole (fig. 8).

Asigurarea echilibrului între intrările și ieșirile de enegie și a circulației cît mai rapide a materialului energetic asigură, de fapt, însușirea cea mai caracteristică a solului, cea care-l deosebește de roca pur minerală — fertilitatea (fig. 9).

Fertilitatea solului nu se confundă cu producția agricolă obținută de pe o anume suprafață de sol, căci ea variază datorită unor cauze care nu au legătură cu aceasta: condițiile climatice, atacurile paraziților, tehnologia agricolă folosită (Eliade ș.a., 1983). Se știe că producția agricolă variază de la un an la altul: cîte un an este redusă datorită secetei, în al doilea — ea crește datorită unui regim pluviometric optim, în al treilea — este afectată de ploi prea abundente. Toate aceste fluctuații n-au, desigur, legătură cu fertilitatea solului.

Invaziile de lăcuste și alte insecte dăunătoare pot reduce drastic producția agricolă. În 1843 producția de cartofi a Irlandei a scăzut la mai puțin de o treime față de normal, datorită distrugerii plantelor de către o ciupercă — mana cartofului. În toate aceste cazuri fertilitatea solului nu este cu nimic implicată.

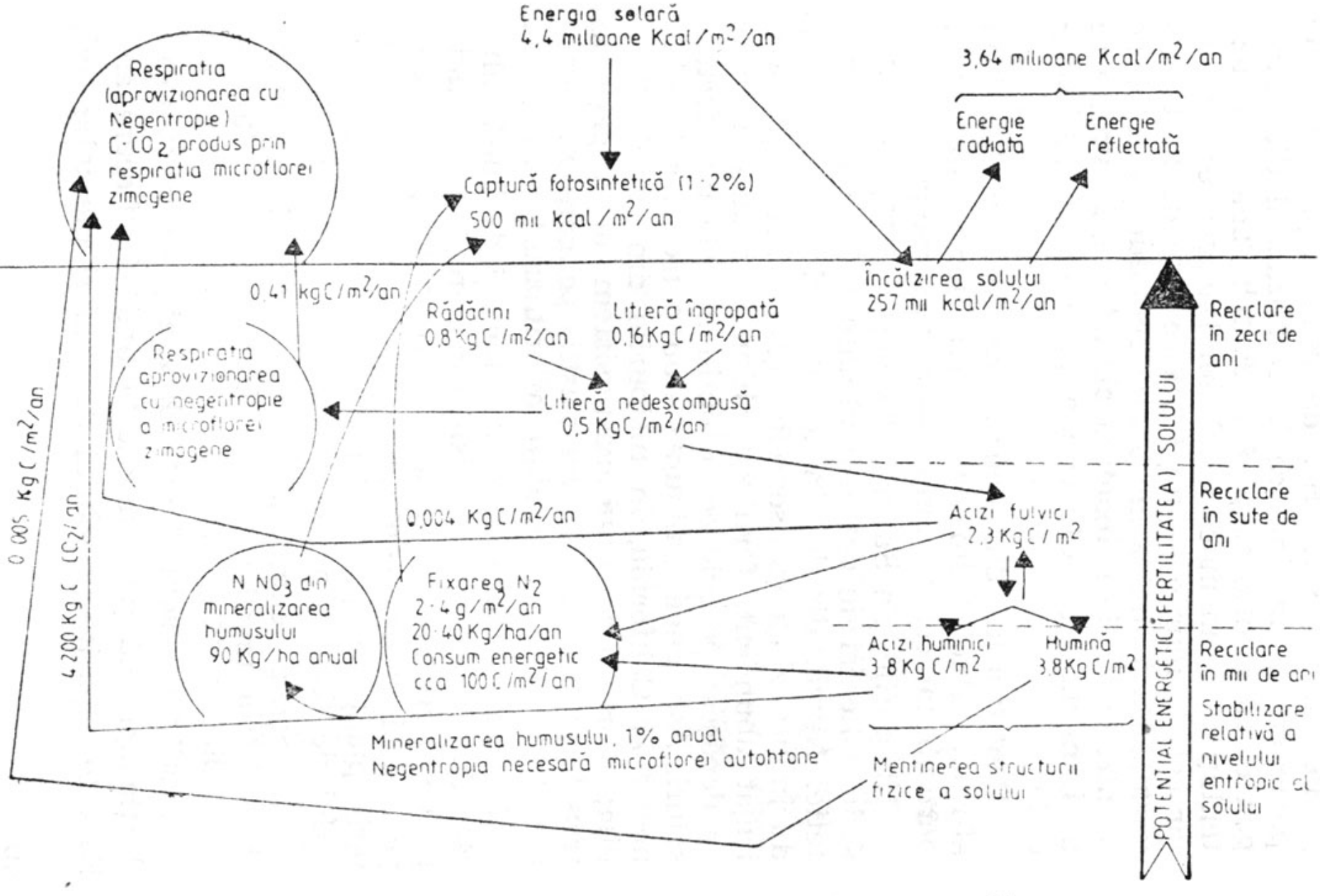


Fig. 9. Relaţii între fertilitatea solului şi producţia vegetală

Pe un sol scheletic, de munte, porumbul nu poate crește, în timp ce în cernoziomul din Bărăgan el dă recolte de pînă la 20 t/ha boabe. Sîntem tentați să spunem că solul din Bărăgan este fertil, iar cel de munte — nu (ceea ce este de fapt adevărat). Dacă însă vom planta molidul pe solul de munte, el va da o biomasă abundentă, în vreme ce în Bărăgan nu poate crește decît în condiții speciale.

Pentru a ieși din încurcătură, unii cercetători au afirmat că solul din Bărăgan are fertilitate pentru porumb, iar cel de munte — pentru molid.

Nisipurile din Sahara, din vestul S.U.A. sau din sudul Olteniei nu pot în mod natural întreține vegetație. Numai din loc în loc vezi cîte o tufă abia ducîndu-și zilele sub soarele dogoritor. Același nisip, irigat abundent, fertilizat chimic, produce recolte ce depășesc pe cele ce se obțin în cele mai fertile soluri. Asemenea „minuni" s-au petrecut sub ochii noștri în California, în nisipurile din sudul Olteniei; construirea unui vast sistem de irigații a transformat zone aproape pustii, pe care rătăceau mici turme de oi, în grădini înfloritoare.

Specialiștii obțin producții mari și de bună calitate chiar fără sol, pe nisip din care s-a eliminat, prin spălare atentă cu acizi, orice urmă de humus, pe soluții apoase conținînd sărurile necesare creșterii plantelor, pe bucăți de plastic îmbibate cu astfel de soluții, pe cenușa termocentralelor.

Asemenea tehnici au pătruns deja în practica obișnuită a marilor complexe de sere din România și din alte țări.

Fertilitatea solului este deci altceva decît producția agricolă pe care acesta o dă în fiecare an. Ea este capacitatea solului de a oferi plantelor tot

ceea ce au nevoie pentru a crește și a rodi (minus, desigur, ceea ce planta obține din afara solului — lumina și apa), substanțele pe care, în alte sisteme decît solul, noi le furnizăm plantelor cu mare cheltuială. Această capacitate însă depinde de structura solului (cea fizico-mecanică și cea biologică), este rezultatul echilibrului între intrările și ieșirile de energie și al vitezei circulației acesteia în sistemul solului (Ghinea, 1975; Ștefanic și Papacostea, 1977).

Fertilitatea solului și producția agricolă se află oarecum în același raport cu cel cunoscut din fizică între energia potențială și cea cinetică. Energia potențială generează, prin consum, energie cinetică. În mod similar, consumarea potențialului de fertilitate al solului generează producția vegetală. Consumul din potențialul de fertilitate poate fi evidențiat, de exemplu, prin cantitatea dioxidului de carbon degajat din sistemul solului prin mineralizarea humusului și preluat de către planta de cultură.

Solurile necultivate sînt de obicei în echilibru, deoarece carbonul nemineralizat se reîntoarce permanent în pămînt la încheierea ciclului de vegetație al plantei. Solurile cultivate se află însă într-o altă situație, căci omul preia carbonul produs de către sol o dată cu recolta. De aceea solul cultivat își reduce conținutul în carbon și treptat-treptat își pierde structura. Acest aspect trebuie să stea în atenția agricultorului care a învățat de multă vreme să-l combată prin fertilizarea cu gunoi de grajd și alte resturi organice. Numai în cazuri extreme se poate recurge la costisitorii polimeri de sinteză care conferă rapid solului structura fizico-mecanică și îmbunătățesc activitatea biologică, ceea ce duce în final la producții agricole sporite (tab. 2).

Tabelul 2

Sporul procentual (obținut prin structurarea cu polimeri a nisipurilor) la producția de grîu și unii indicatori biologici ai fertilității solului (după datele obținute de Poliakova, 1980, prelucrate de Ghinea, 1983)

Doza de polimeri kg/ha)	Respirația microflorei solului				Capacitatea de nitrificare				Producția de grîu
	Acțiune directă	După 1 an	După 2 ani	După 3 ani	Acțiune directă	După 1 an	După 2 ani	După 3 ani	
A. Poliacrilamidă									
100	110	77	60	77	11,8	4,0	0,0	61,4	42
150	181	101	188	212	70,6	14,0	10,0	4,5	194
200	233	321	301	330	90,2	68,0	52,0	13,4	214
B. Poliacrilonitril hidrolizat									
100	195	460	439	513	88,2	94,0	76,0	61,4	187
150	254	504	505	564	117,6	110,0	96,0	97,7	256
200	294	573	568	608	131,3	156,0	120,0	97,7	422

3. Azotul și intima lui legătură cu carbonul

Știința este măsurătoare
Galileu

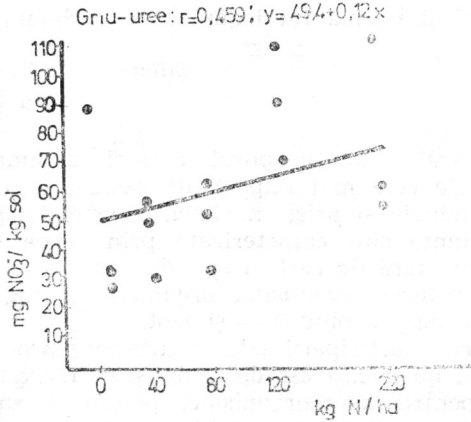
S-a arătat la începutul acestei expuneri că substanțele cele mai importante pentru lumea vie sînt proteinele și acizii nucleici. Aceste două clase de substanțe sînt caracterizate prin aceea că ele conțin, în afară de carbon și hidrogen, — elemente comune tuturor compușilor organici —, oxigen (de asemenea larg răspîndit) — și azot.

Datorită participării sale la structura proteinelor și acizilor nucleici, clasă de compuși de mare însemnătate pentru microorganisme, plante și animale, azotul este un element deosebit de important pentru lumea vie.

Cea mai mare parte a azotului, 97,82%, se găsește în rocile sedimentare aflate la mare adîncime în scoarță, în rocile sedimentare de suprafață el fiind, practic, absent. Cele 1,96 procente de azot aflate în atmosferă înseamnă de 10 ori mai mult decît totalul acestui element reținut de biosferă.

Humusul constituie sursa de azot a solului. El reprezintă o clasă de substanțe organice („sistemul substanțelor humice" — Saalfeld, 1976), descompuse de către microorganisme prin oxidare, acestea procurîndu-și astfel energia vitală necesară. Lüttich (1987) a găsit pentru 3 fracții humice următorii timpi de injumătățire: 3,65; 21 și 192,5 zile. Totuși vîrsta medie a substanțelor humice (datată cu 15C) a variat de la cîțiva zeci de ani (acizii fulvici din solurile aluvionare nou formate) la 1 500 ani (acizii humici din cernoziom).

Substanțele humice se descompun totuși mai repede decît alte substanțe organice care ajung în



Corelația doze N/capacitatea de mineralizare

Fig. 10.

sol. Mineralizarea în ape, la temperaturi de peste 0°C, se dublează cu fiecare creștere a temperaturii cu 10°C, pînă la 30°C (Almê Hanschmann, 1983). Această dinamică este caracteristică pentru procesele chimice desfășurate sub acțiunea organismelor vii. Mineralizarea fiind un proces oxidativ, este stimulată de afinarea solului prin arătură sau alte lucrări (Fitts, 1953; Ghinea ș.a., 1964). Dimpotrivă, compactarea solului reduce rata mineralizării humusului, dar accelerează procese reducătoare dăunătoare solului și plantelor (Hulpoi ș.a., 1967; Vinșova, 1986). Desțelenirea solului are ca urmare accelerarea mineralizării și sărăcirea solului în humus (Haziev ș.a.,1985).

Fertilizarea organică (Kundler și Sumkalski, 1983, 1988) și minerală accelerează mineralizarea (fig. 10).

Prin mineralizare, patru cincimi din substanța organică sînt folosite de microorganisme pentru a-și suplini nevoia de energie și o cincime — pentru sinteza proteinei microbiene, care conține un atom de azot la cinci atomi de carbon. Datorită potențării celor două fenomene, microorganismele utilizează o parte de azot la 25 părți carbon organic. Ele folosesc însă în hrană substanțe humice, care conțin o parte azot la 10 părți carbon. Datorită acestui fapt, în nutriția cu substanțe humice a microorganismelor rezultă întotdeauna un excendent de azot care nu mai poate fi menținut în sol sub forme organice și este eliberat sub formă de amoniu. Ionii de amoniu au încărcătură electrică pozitivă, în timp ce substanțele coloidale organo-minerale din sol sînt încărcate electronegativ. De aceea au tendința de a se fixa pe coloizii solului, numai un procent relativ mic rămînînd dizolvat în apa din sol („soluția solului"), care în cazul nostru servește ca soluție de echilibru pentru ionii organominerali pe care s-a adsorbit amoniul.

Amoniul aflat în soluție poate fi absorbit atît de microorganismele aflate în sol, cît și de rădăcinile plantelor superioare. În concurența pentru ionii de amoniu microorganismele sînt avantajate căci, pentru același volum de substanță vie, au o suprafață de contact cu soluția solului mult mai mare.

Ionii de amoniu pot fi produși în sol nu numai prin descompunerea substanțelor humice, ci și prin degradarea altor compuși ce conțin azot. Cel mai frecvent ajung în sol, o dată cu resturile vegetale și animale, proteinele. Acestea sînt, ca și celulozele, substanțe cu molecula mare, care nu pot pătrunde solubilizate în celulele microorganismelor. Microorganismele secretă deci enzime speciale — proteazele

— care, în afara celulei microbiene, rup molecula proteică în unitățile ei structurale — aminoacizii. Acest proces se numește *proteoliză*.

În mod similar, acizii nucleici sînt scindați în baze azotate, zaharuri (riboză sau dezoxiriboză) și acid fosforic.

Ca urmare, în sol sînt produse, în mare cantitate, substanțe cu moleculă simplă ce conțin azot. Alte substanțe de acest fel (de plidă ureea, acidul uric etc.) ajung în sol ca atare.

Microorganismele sînt capabile să elibereze azotul din astfel de substanțe (sub formă de amoniac), utilizînd restul moleculei organice ca sursă de energie. Acest proces se numește *amonificare*.

Atît proteoliza, cît și amonificarea pot avea loc pe diverse căi, în prezența oxigenului (aerob) sau în absența acestuia (anaerob). În cazul în care aceste procese au loc anaerob, se produc substanțe volatile, urît mirositoare și foarte toxice. De aceea solul trebuie menținut permanent aerat, evitîndu-se proteoliza și amonificarea anaerobă.

Foarte multe microorganisme folosesc, ca și plantele superioare, amoniul (rezultat din amonificare sau mineralizarea humusului), pentru a sintetiza aminoacizii și bazele azotate, unitățile structurale ale proteinelor și acizii nucleici. Ionii de amoniu sînt însă substanțe reduse. Prin oxidare, hidrogenul din molecula de amoniac se transformă în apă, iar azotul în diverși oxizi de azot. Acest proces — ca toate procesele oxidative — generează energie.

Există o grupă de microorganisme care-și procură energia necesară vieții prin oxidarea ionilor de amoniu la acid nitros — nitritbacteriile (*Nitrosomonas, Nitrosocystis* etc.). Marele savant S. N. Wino-

gradski a reușit, la sfîrșitul secolului trecut (1891), să le izoleze din sol și să demonstreze că ele pot trăi în absența oricărui compus organic, sînt organisme autotrofe, dar incapabile de fotosinteză. Ele folosesc energia chimică rezultată din oxidarea amoniului pentru a reduce dioxidul de carbon la compușii organici necesari sintezei proteinei proprii, sînt deci organisme *chimiotrofe*.

Winogradski a semnalat totodată o particularitate excepțională a fiziologiei acestor microorganisme: ele nu numai că nu au nevoie de substanță organică pentru a crește și a se dezvolta, dar substanța organică reprezintă pentru ele un factor toxic.

Acidul nitros produs sub acțiunea nitritbacteriilor este o substanță toxică pentru majoritatea organismelor vii, fie ele plante sau animale Există însă bacterii care, nu numai că nu suferă în contact cu ionii de acid nitros, dar sînt capabile să-i oxideze pînă la ioni nitrici folosind energia produsă de această reacție de oxidare. Aceste bacterii chimiotrofe se numesc nitratbacterii. Nitrit- și nitratbacteriile împreună sînt denumite bacterii nitrificatoare, iar procesul produs de ele (nitrificare) are o deosebită influență asupra creșterii plantelor.

De obicei procesul nitrificării nu se oprește niciodată la treapta formării nitriților, deoarece oxidarea acestora este mai rapidă decît a amoniacului. Acest fenomen are o deosebită importanță, el împiedicînd intoxicarea plantelor cu nitriți și producînd în sol nitrați, principalul aliment azotat al plantelor. Oxidarea nitriților poate fi totuși blocată datorită înghețului din timpul iernii (mai nociv pentru nitratdecît pentru nitritbacterii) sau datorită prezenței unei substanțe toxice selective pentru nitratbacterii, caz în care în sol se acumulează nitriți și plantele sînt intoxicate.

În solurile normale însă, atît amonificarea cît și nitrificarea decurg cu foarte mare viteză, astfel încît întreaga cantitate de azot mineral se regăsește sub formă nitrică (acesta este, spre exemplu, cazul cernoziomurilor, solurilor cele mai fertile).

Nitritbacteriile sînt foarte sensibile la prezența acizilor în mediu. De aceea ele se dezvoltă slab în solurile acide (în podzoluri, în soluri de munte). În aceste soluri azotul rămîne (în mare parte) sub formă amoniacală.

Azotul joacă un rol foarte important în viața plantei. Teoretic vorbind el vine ca importanță imediat după lumină, oxigen, dioxid de carbon și apă. În mod natural însă lumina, oxigenul și dioxidul de carbon se găsesc în cantități mult mai mari decît au nevoie plantele, astfel încît nu devin niciodată factori limitativi pentru producția vegetală. Aceasta este în mod obișnuit și situația apei, exceptînd regiunile aride din zona tropicală, unde vegetația are caracter sezonier, crescînd abundent în sezonul ploilor și uscîndu-se în sol secetos, sau este tot timpul rară și sărăcăcioasă (zona deșertică, exceptînd zonele irigate). În zonele cu precipitații normale, apa devine factor limitativ pentru creșterea plantelor în anii secetoși.

În cazul în care — alături de lumină, oxigen și dioxid de carbon — apa este asigurată în cantități suficiente, în mod natural sau prin irigații, principalul factor care limitează producția agricolă este azotul. De aceea producția agricolă corelează aproape în toate cazurile cu capacitatea solului de a furniza plantelor azot, exprimată cel mai bine de intensitatea nitrificării. Asemenea rezultate s-au obținut și în România. Pintilie ș.a. (1965), lucrînd pe un sol supus secetei (în Bărăgan) au constatat că,

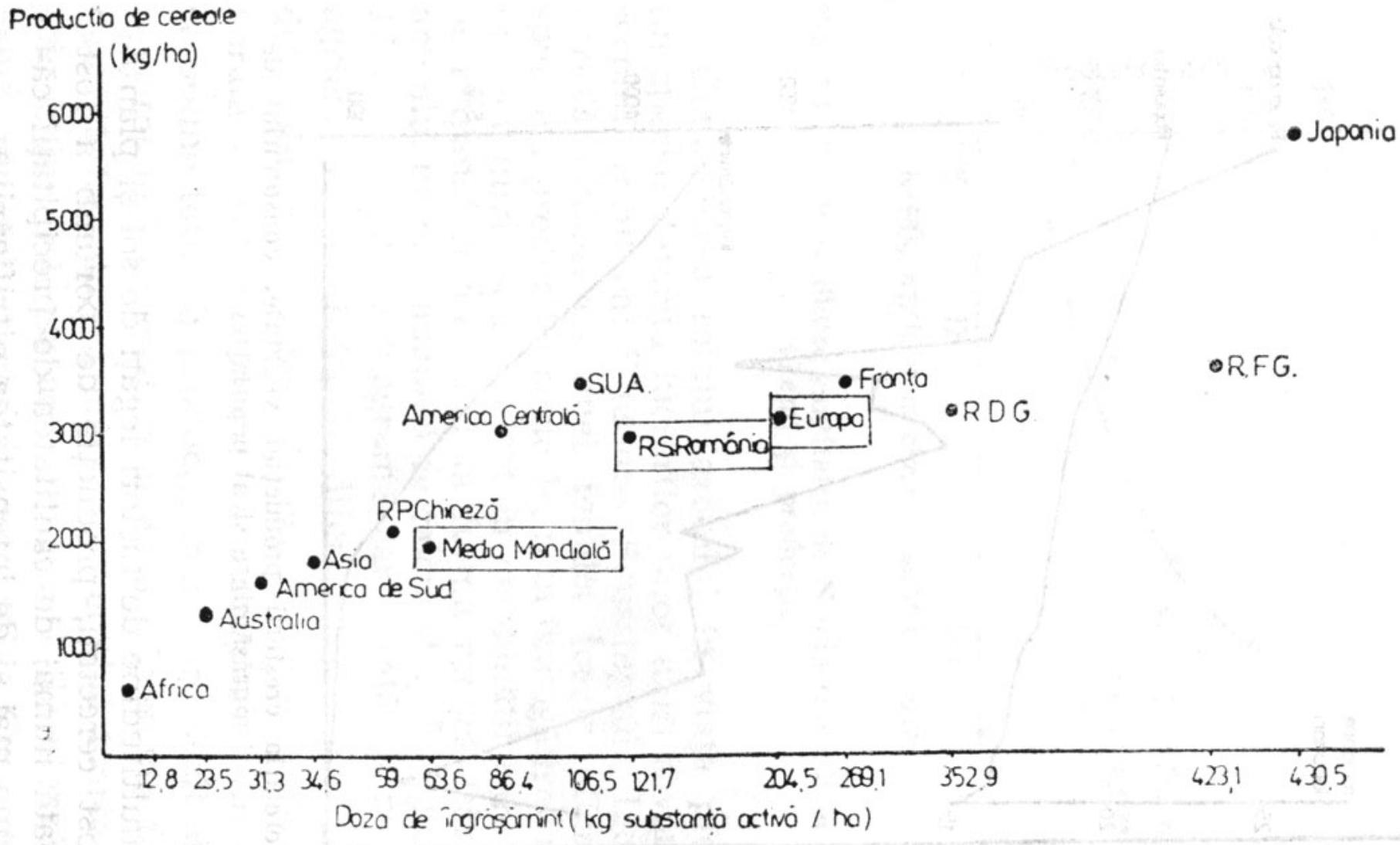


Fig. 11. Relaţia dintre cantitatea de îngrăşământ folosită şi producţia de cereale obţinută în diferite zone ale globului

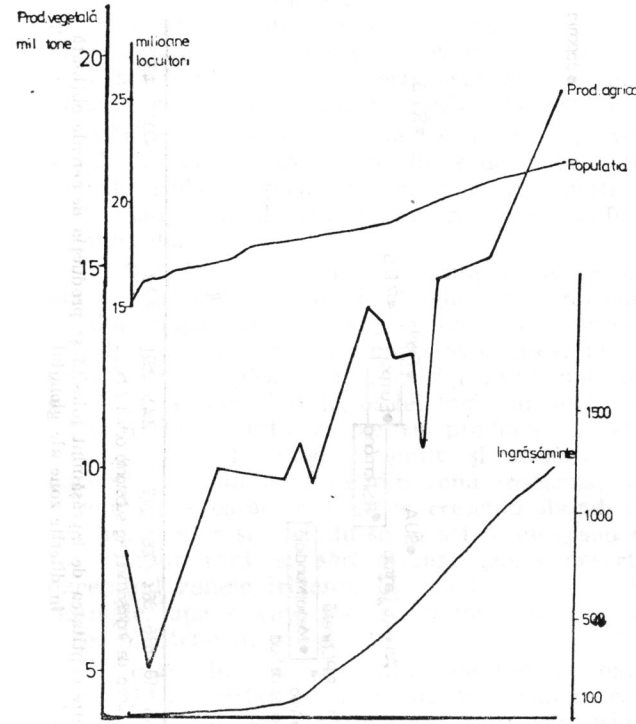


Fig. 12. Corelația creșterii producției vegetale, consumului de îngrășăminte și al populației

dintr-o multitudine de factori legați de sol și plantă ce au fost cercetați, producția de porumb a fost determinată numai de cantitatea de precipitații căzute în luna mai și de intensitatea nitrificării

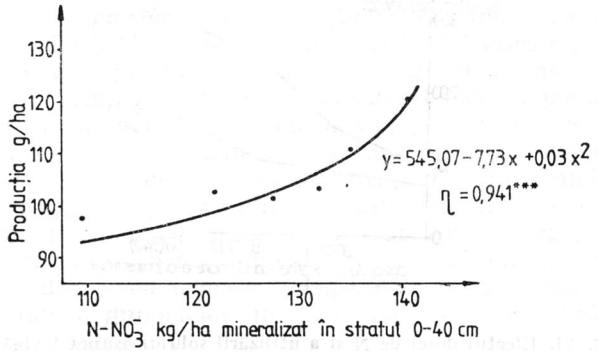


Fig. 13. Corelația dintre cantitatea de N mineralizată în sol (0—40 cm) și producție

Cunoașterea rolului azotului în viața plantelor (în special datorită lucrărilor unor mari savanți din secolul trecut ca: Saussure, Boussingault, Liebig) a permis elaborarea unei tehnici foarte eficace de sporire a producției agricole, prin îmbogățirea solului în azot nitric sau cu azot în combinații care pot fi ușor transformate pînă la forma nitrică (săruri de amoniu, uree, cianamidă de calciu etc.). În figurile 11, 12 se prezintă o diagramă care arată că producția agricolă ce se obține în diferite țări ale lumii este determinată, în mare, de cantitatea de azot încorporată în sol sub formă de îngrășămînt (în S.U.A. se obține totuși o producție mai mare decît ar fi de așteptat față de cantitatea de îngrășăminte folosite, datorită faptului că americanii cultivă foarte multă soia și lucernă, iar aceste plante influențează favorabil regimul azotului din sol). Cu cît pro-

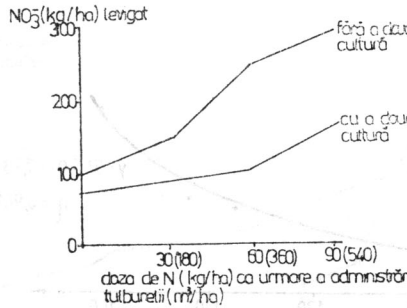


Fig. 14. Efectul dozei de N și a utilizării solului asupra levigării NO_3

cesul de mineralizare a azotului din humus și de nitrificare a azotului format sînt mai puțin intense, plantele vor avea mai puțin azot la dispoziție și vor rodi mai slab (fig. 13). În acest caz este nevoie să se recurgă la cantități tot mai mari de îngrășăminte minerale cu azot pentru a aduce intensitatea formării de nitrați în sol la optimum cerut de producția vegetală. Prin urmare, analiza capacității de mineralizare și nitrificare a solului constituie un test foarte bun pentru a aprecia cantitatea de îngrășămînt azotat ce trebuie furnizat culturilor agricole (Eliade, Ștefanic și Ghinea, 1975; Gorlach ș.a., 1989).

Azotul amoniacal este, deci, fixat puternic pe coloizii solului datorită sarcinii sale electropozitive. Spre deosebire de acesta, ionii nitrici, încărcați electronegativ și respinși de acești coloizi, rămîn în soluția solului și, acea parte a lor neabsorbită nici de microorganisme, nici de rădăcinile plantelor, circulă cu soluția solului preponderent spre adîncimea

profilului, coborînd sub stratul din care plantele îl pot extrage. Korenicov ș.a. (1986) au demonstrat că peste 50% din azotul pe care planta îl folosește provine din primii 30 cm sol. Nitratul ajuns sub 60—90 cm în sol poate fi considerat pierdut pentru producția agricolă și el poate ajunge în apa freatică din care se alimentează fîntînile. Acest fenomen poluant, denumit levigarea nitraților, este deosebit de păgubitor pentru om. El crește ca urmare a fertilizării minerale și organice (substanțele organice generează, prin mineralizare — nitrați, cum am arătat), dar și ca urmare a depozitării fără responsabilitate a gunoaielor, in locul unei corecte utilizări în agricultură.

Levigarea este împiedicată de absorbția nitraților în plantă, fiind puternic frînată de amplasarea unei culturi succesive după culturile (grîu, orz, mazăre, etc.) ce se recoltează în luna iunie (fig. 14).

Nitrații au o influență îndoielnică asupra sănătății omului adult (s-a incriminat producerea unor derivați cancerigeni, nitrosamine, dar acest fenomen nu poate fi probat). Asupra copiilor și animalelor tinere, nitrații acționează însă evident negativ, producînd o formă gravă de anemie (methemoglobinemie).

Prin intermediul pînzei freatice sau chiar direct (prin șiroire) nitrații pot ajunge în apele de suprafață care se îmbogățesc astfel în principalul element nutritiv pentru plante — azotul. Îmbogățirea apelor în elemente nutritive pentru plante se numește *eutrofizare*. În apele eutrofizate crește o vegetație abundentă, nefolositoare (fenomen ușor de observat în cazul multor bălți acoperite cu mătasea broaștei). Plantele de la suprafața acestor ape consumă, prin respirație, întreaga cantitate de oxigen (sau după

moartea lor, oxigenul este folosit de către microorganismele care descompun corpul plantelor ce şi-au încheat ciclul de viaţă). În ambele cazuri rezultatul este acelaşi: fauna utilă a apelor, în primul rînd peştii, se sufocă şi piere.

Prin urmare, azotul nitric nu numai că se poate pierde din sol pe diferite căi, dar ajungînd în mediul acvatic dăunează intereselor omului. Pe de altă parte, plantele pot folosi în nutriţie şi azot amoniacal, nu numai azot nitric. S-ar părea deci că nitrificarea este un stadiu inutil sau cel puţin neesenţial în metabolismul azotului în sol, dar realitatea este cu totul alta. Ea a fost pusă în evidenţă de cercetătorul american Fred printr-o experienţă foarte simplă: el a crescut unele plante într-un vas conţinînd o soluţie nutritivă lipsită de azot; altele într-alt vas, cu o soluţie nutritivă identică cu prima, dar avînd în plus şi azot amoniacal; în fine, în al treilea vas a pus aceeaşi soluţie nutritivă ca şi în al doilea, dar a introdus şi bacterii nitrificatoare. În primul caz, plantele au dat o biomasă neglijabilă (1,5 g), în al doilea caz au crescut relativ bine (66,5 g), dar în al treilea productivitatea a fost mult mai mare (166 g).

Cercetările au stabilit că în cea mai mare parte a perioadei sale de creştere planta poate folosi foarte bine azotul amoniacal. În perioadele de creştere intensă ea are nevoie de azot în cantitate mare, pe care trebuie să-l preia prin rădăcină masiv şi fără a consuma energie pentru a-l extrage. Numai în cazul în care în sol există un exces de nitraţi acest fenomen este posibil. De aceea nu este posibil să obţinem producţia vegetală maximă fără a avea pierderi de nitraţi prin levigare (Commoner, 1980). În sisteme irigate superintensive evitarea pierderilor de azot prin levigare este posibilă prin recircularea

apei, respectiv circulația apei din sistem este controlată și tot ceea ce se scurge este reintrodus (Hera ș.a., 1984).

Aceeași concluzie, respectiv necesitatea absolută a alimentării abundente cu azot nitric în perioadele de creștere intensă a plantelor, se poate trage și din observațiile cercetătorului olandez Lebbink (1977): el a constatat că în solurile tratate timp de minim 11 ani consecutiv cu substanța DD pentru a omorî nematozii paraziți de pe plante (situație întîlnită frecvent în Olanda datorită cultivării pe suprafețe foarte mari a sfeclei și cartofului), nitrificarea este complet blocată și ea nu mai poate fi restabilită prin nici un mijloc. Pe asemenea soluri se pot obține producții agricole ridicate, dacă ele se fertilizează cu azot nitric (și numai nitric), la un anumit moment din viața plantei de cultură. Atunci cînd a încercat să popularizeze aceste concluzii printre fermieri, el a aflat că aceștia, fără a cunoaște nimic despre nitrificare și bacteriile nitrificatoare, știau totuși că pe solurile tratate multă vreme cu DD trebuiesc aplicate exclusiv îngrășăminte sub formă de nitrați.

Preparatul DD conține două componente, fapt care a fost considerat multă vreme ca lipsit de importanță. Lebbink a observat însă că nematozii sînt omorîți de o componentă, iar nitrificarea este blocată de cealaltă. Mai mult, componenta ce blochează nitrificarea este toxică și pentru grîu, provocînd deformarea spicelor (fig. 15) și scăderi de producție proporționale cu frecvența spicelor deformate (fig. 16). Ca urmare a cercetărilor lui Lebbink în prezent se produce și se utilizează, pentru combaterea nematozilor, un preparat purificat, lipsit de componenta toxică pentru nitrificare și pentru grîu.

Fig. 15. Malformațiile induse de 1, 2 diclorpropan (unul din cele două componente ale DD) la spicele de grîu

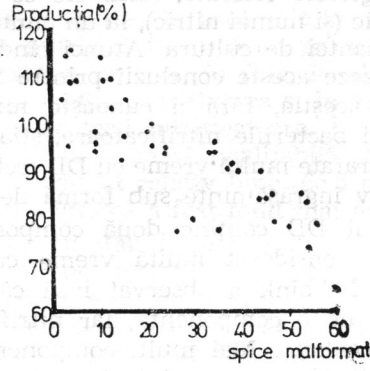


Fig. 16. Corelația dintre procentul de spice deformate și producția de grîu

În solurile cu exces de umiditate nitrații se pot pierde nu numai prin levigare, ci și pe altă cale. În pămîntul mustind de apă lipsește oxigenul și, în aceste condiții, unele microorganisme, pentru a-și

satisface nevoia de oxigen (necesar respirației), descompun molecula de nitrați (NO_3), azotul fiind eliberat sub formă gazoasă (N_2 sau N_2O). Acest fenomen se numește *denitrificare*. În mod tradițional el a fost considerat ca negativ pentru agricultură. În realitate, în solul cu exces de umiditate azotul nitric nu poate fi menținut: el este fie levigat, fie denitrificat. Denitrificarea prezintă însă avantajul că nu mai poluează apele cu nitrați.

Denitrificarea este numai calea uzuală de rezolvare a lipsei de oxigen a micropopulației solului, lesnicioasă datorită prezenței nitraților în sol și ușurinței relative cu care se realizează termodinamic procesul (tab. 3). În cazul absenței nitraților se pot folosi alte căi, între care reducerea diferitelor substanțe organice la hidrocarburi toxice pentru plante (Williams și colab., 1981). Acest proces a fost utilizat însă, cu mare eficiență economică și

Tabelul 3

Potențialul redox al diferitelor reacții

Tipul de reacție	P_2	Eh (volți)
CO_2/CH_2O	−7,3	−0,43
N_2/NH_4^+	−6	−0,35
CO_2/ acetat	−4,7	−0,28
SO_4^{--}/H_2S	−3,7	−0,22
Fumarat / succinat	+0,51	+0,03
NO_3^-/NO_{2++}^-	7,11	0,42
Mn O_2/Mn	8,1	0,48
Cyt_3(ox) / Cyt_3(red)	9,3	0,55
Fe^{+++}/Fe^{++}	12,9	0,76
1/2 O_2/H_2O	13,9	0,82

ecologică, la fermentarea gunoaielor cu producere de biogaz. Unele bacteri din genul *Pseudomonas* sînt utilizate la gazeificarea în subteran a cărbunelui, mai eficientă decît prin metode termice.

O altă alternativă împotriva lipsei oxigenului este reducerea sulfului elementar (Pezet și Zucaroni, 1987). Trebuie să observăm că alte microorganisme oxidează sufurile, proces utilizat în desulfurarea cărbunelui, în special în cocserii.

Prin reducerea compușilor vegetali cu sulf (aflați în mare cantitate în resturile de rapiță, varză și alte crucifere) pînă la izotiocianați, este împiedicată înmulțirea în sol a unor ciuperci patogene pentru plante, resturile vegetale de acest fel fiind deci un mijloc de protejare a culturilor (Rothamsted Expl. Sta. Reptr., 1984).

Pierderile de azot din sol prin denitrificare sînt importante cînd cantitatea de nitrați din sol depășește 5 mg/kg sol (Rothamsted Exp. Sta. Reptr., 1985) și cresc proporțional cu intensitatea mineralizării humusului și cantitățile de îngrășămînt ce se introduc în sol (fig. 17). Denitrificarea este cu 40,4—53,8% mai mare în solul cultivat comparativ cu cel înțelenit. Kurakova și Umarov, (1989), Kidin și colab (1984) au constatat pierderi de 11% prin denitrificarea în solul proaspăt desțelenit, 23% în solul cultivat în asolament și 48% în solul menținut ca ogor negru. Culturile agricole au folosit 65% din azot în solul proaspăt desțelenit, 55% în solul cultivat în asolament și numai 28% după ce solul a fost menținut ca ogor negru.

Pierderile prin denitrificare sînt mai mari în solul fertilizat organic (comparativ cu cel fertilizat mineral), datorită faptului că îngrășămintele organice furnizează microflorei denitrificatoare energia

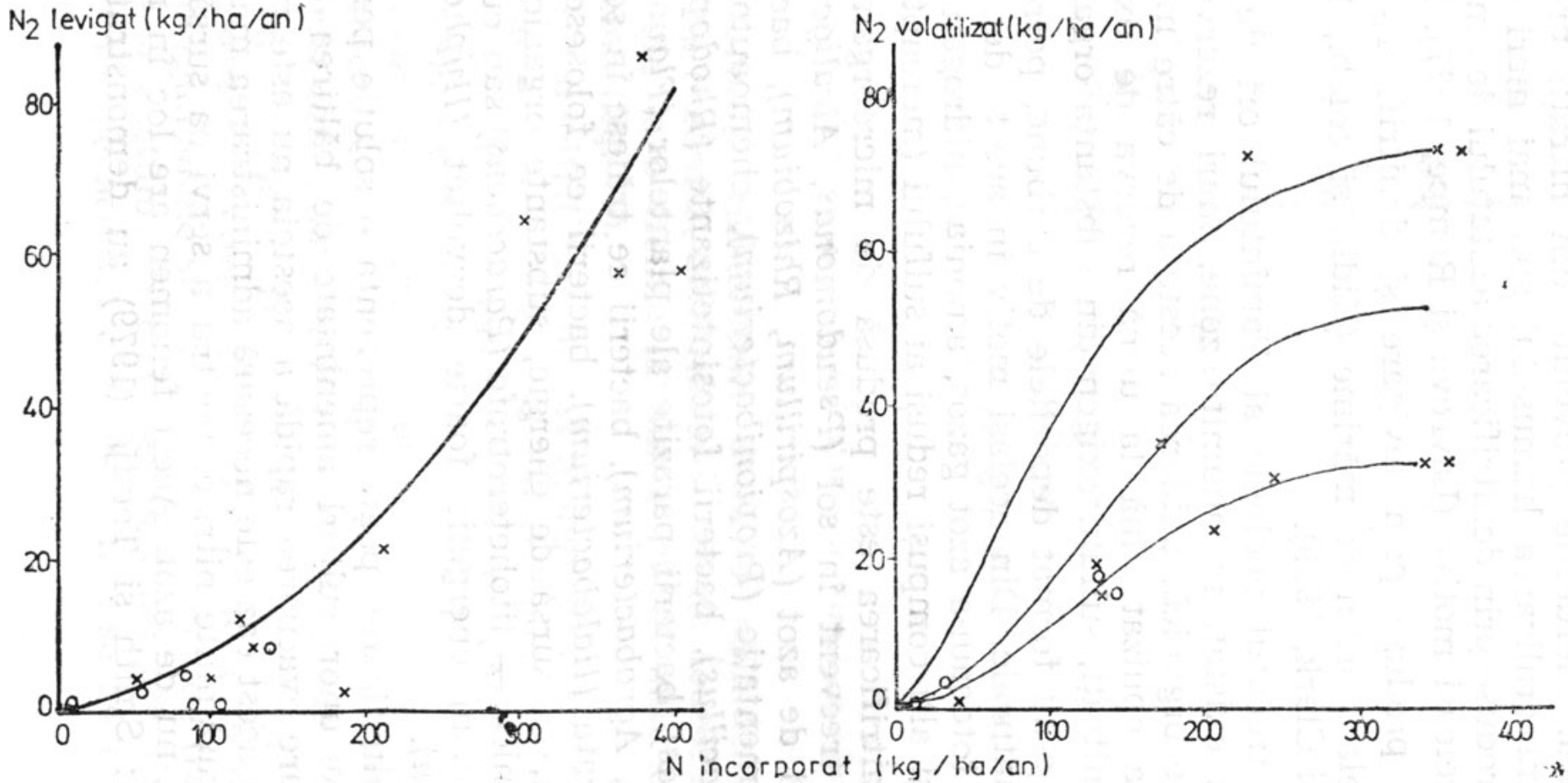


Fig. 17. Pierderile de N din sol în funcție de fertilitate

necesară. Pierderile provenite din nitrații produși prin mineralizarea humusului sînt mai mari decît cele produse prin denitrificarea azotatului de amoniu, din aceleași motive (Lavrova și Rempe, 1987). Pierderile produse prin levigare și denitrificare sînt de același ordin de mărime (Kidin și colab., 1985; Paul și Clark, 1989).

În trecutul geologic al Pămîntului ori de cîte ori au existat, în anumite zone, mari rezerve de materie organică, oxidarea acestora de către microfloră a epuizat pînă la urmă rezerva de oxigen liber, nitrați, sulfați, oxigen din substanța organică. Astfel s-au format depozitele de cărbune, petrol și gaze naturale. Din același motiv în aceste depozite există totdeauna azot gazos, amoniac, hidrogen sulfurat și alți compuși reduși ai sulfului (mercaptani).

Denitrificarea este produsă de microorganisme aflate frecvent în sol *(Pseudomonas, Alcaligenes)*, fixatori de azot *(Azospirillum, Rhizobium)*, bacterii de fermentație *(Propionibacterium)*, chemoautotrofi *(Thiobacillus)*, bacterii fotosintetizante *(Rhodopseudomonas)*, bacterii parazite ale plantelor *(Flavobacterium, Agrobacterium)*, bacterii ce trăiesc în soluri sărăturate *(Halobacterium)*, bacterii ce folosesc simultan, ca sursă de energie, substanțe organice și anorganice — litoheterotrofe *(Paraccocus)* sau cu un metabolism energetic foarte dezvoltat *(Hyphomicrobium)*.

Denitrificarea poate reprezenta o soluție pentru salvarea unor culturi amenințate de băltirea apei și la care evacuarea rapidă a acesteia nu este posibilă: în acest caz este necesară administrarea masivă de îngrășăminte nitrice, pentru a servi ca sursă de oxigen, nu de azot. Acest fenomen are loc în mod natural: Smith și Toedje (1979) au demonstrat că

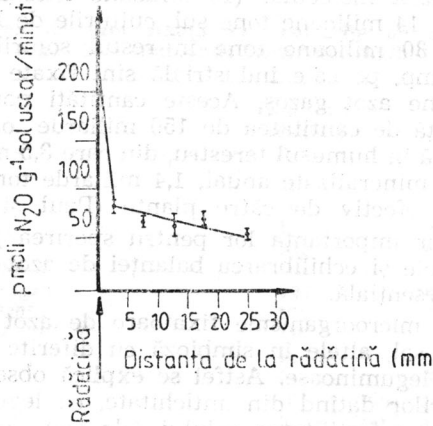


Fig. 18. Activitatea denitrificatoare în rizosfera ovăzului

la suprafața rădăcinilor, datorită abundenței de materie organică, denitrificarea are loc foarte intens: ea scade la o treime la numai cîțiva milimetri de rădăcină (fig. 18).

Prin denitrificare azotul ajunge în marele rezervor care este atmosfera (3 000 trilioane t). În perioada inițială de apariție a vieții pe Pămînt azotul atmosferic ajungea în forme combinate datorită descărcărilor electrice, atunci foarte frecvente și puternice. Chiar azi fulgerele produc astfel de compuși care ajung pe Pămînt și în oceane dizolvați în apa de ploaie (7,6 milioane tone anual, după evaluarea lui Voets, 1978). În zilele noastre însă microorganismele sînt principalul factor de transformare a azotului în compuși organici (de fixare a azotului), pe această cale reducîndu-se 54 milioane

tone de azot molecular (10 milioane tone în mări și oceane, 14 milioane tone sub culturile de leguminoase și 30 milioane tone în restul solurilor). În același timp, pe cale industrială sînt fixate 30 milioane tone azot gazos. Aceste cantități pot părea infime față de cantitatea de 150 miliarde tone azot care există în humusul terestru, din care 3,5 miliarde tone sînt mineralizate anual, 1,4 miliarde tone fiind absorbite efectiv de către plante (Paul și Clark, 1989)), dar importanța lor pentru sporirea producției agricole și echilibrarea balanței de azot este în realitate esențială.

Unele microorganisme fixatoare de azot trăiesc libere în sol, altele în simbioză cu diferite plante, mai ales leguminoase. Astfel se explică observațiile agricultorilor datînd din antichitate, că leguminoasele sporesc fertilitatea solului (ele sau, mai bine zis, simbionții lor bacterieni, îl îmbogățesc în azot, principalul factor ce limitează producția agricolă). Cantitățile de azot fixat sînt foarte însemnate (tab. 4). Procesul prin care azotul gazos din atmosferă este transformat în azot organic este o reducere, o combinare a acestuia cu hidrogenul.

Bazele înțelegerii acestui proces (denumit „fixarea biologică a azotului") au fost puse de Winogradski (1930), supranumit, pentru numeroasele și importantele sale descoperiri, „părintele microbiologiei solului". El a arătat că procesul de fixare se petrece în interiorul celulei microbiene și a făcut două presupuneri deosebit de importante: că azotul este redus pînă la amoniac (care ulterior se combină cu acizii organici pentru a produce aminoacizii) și că microorganismele care fixează azotul posedă o enzimă specială răspunzătoare de procesul de reducere — nitrogenaza.

Tabelul VI

Cantitatea de azot fixată sub culturile de leguminoase de către simbionții bacteriilor (kg/ha)

Cultura	Cantitatea probabilă	Limite
Bob	210	45—550
Mazăre	65	52—77
Lupin	176	130—208
Fasole	202	68—342
Fasole „mung"	61	—
Cajanus cajan	224	168—280
Vigna sinensis	198	73—354
Canavalia ensiformis	49	—
Năut	103	—
Arahide	124	72—124
Soia	94	pînă la 170
Trifoi roșu	115	pînă la 140
Trifoi alb	125	—
Lucernă	222*	cantitate rămasă în sol)
Lucernă	893*	cantitate totală fixată)

*După Moga I., P. Varga, E. Kellner, Ludmila Gumaniuc H. Slușanski, Rodica Moga, E. Șerbănescu, D. Craiciu, Virginia Fluerașu, 1981 — *Probleme de Agrofitotehnie teoretică și aplicată*, *3*, 1, 83—106.

Ambele ipoteze au fost ulterior verificate ca juste prin experiment, deși, spre exemplu, evidențierea nitrogenazei s-a putut face abia după 1970. În deceniul al optulea al secolului nostru, enzima a putut fi evidențiată, fotografiată la microscopul electronic: s-a demnostrat că e formată din două fracțiuni, una cu greutate moleculară de 220—270 mii, conținînd molibden și fier (molibdoferoproteină, MoFe proteină, denumită azofermo sau

Compus I), cu structura cristalină tetraedrică, alta, cu greutatea moleculară de cca 65 mii, conținînd numai fier (feroproteina, Fe proteină, numită azofer sau Compus II). Enzima funcționează numai dacă sînt prezente ambele fracțiuni deși fracția I are rolul principal. Alternativ există și o nitrogenază cu vanadiu în loc de molibden (Bishop ș.a., 1987).

Pentru ca enzima să acționeze este esențială existența unei triple legături, așa cum există între atomii azotului gazos: N ≡ N. Nitrogenaza nu reduce însă numai atomii de hidrogen, ci și alte cinci clase de compuși chimici, toate posedînd triplă legătură:

1. $N{\equiv}N^{+}{-}O$ (protoxid de azot)
2. $N{\equiv}N^{+}{-}N{-}H$ (nitrură de hidrogen)
3. $HC{\equiv}N$ (acid cianhidric)
4. $H_3C{-}N^{+}{\equiv}C$ (izocianură de metil)
5. $HC{\equiv}CH$ (acetilenă).

Faptul că enzima poate cataliza hidrogenarea acetilenei la etilenă permite măsurarea foarte exactă a activității enzimei (prin determinarea cantității de etilenă formată). Activitatea enzimei asupra unor compuși ca acidul cianhidric și izocianura de metil, caracteristici, cum s-a arătat, atmosferei primitive a Terrei, poate duce la concluzia că microorganismele ce posedă nitrogenază au trăit și în condițiile în care astfel de compuși se aflau în mare cantitate în atmosferă, enzima folosind fie pentru a furniza azot celulei în care se afla, fie pentru a detoxifica aceste substanțe otrăvitoare. Prin urmare, nitrogenaza, deci capacitatea de a fixa azot, este o foarte veche achiziție a lumii vii.

Constatarea că fixarea azotului este de fapt un proces reducător poate duce la concluzia că microorganismele fixatoare ar fi întotdeauna anae-

robe, presupunere inexactă, căci există foarte multe microorganisme fixatoare aerobe. Este adevărat însă că microorganismele anaerobe din genul *Clostridium* (specia tipică, *Clostridium pasteurianum* fiind primul organism fixator descoperit în 1893 de către Winogradski) realizează mai eficient fixarea azotatului. Majoritatea microorganismelor fixatoare sînt însă aerobe. Printre ele, în soluri și ape trăiește *Azotobacter*, care este organismul cu cel mai mare consum de oxigen din lumea vie (se consideră că tocmai acest consum foarte intens de oxigen protejează nitrogenaza de contactul cu acest gaz toxic pentru ea).

Cianobacteriile fixatoare de azot realizează în interiorul celulei niște formații speciale (heterochiști), în interiorul cărora se află nitrogenaza și în care oxigenul nu pătrunde. Mecanismul de protecție cel mai eficient îl posedă însă bacteriile ce trăiesc în simbioză cu leguminoasele, din genul *Rhizobium*. Acestea produc, în asociație cu planta leguminoasă, un pigment roșu foarte asemănător hemoglobinei de la om și alte animale (hemoglobină de leguminoase, leghemoglobină). Rolul leghemoglobinei este absolut similar cu cel al hemoglobinei de la om: acela de a fixa și transporta oxigenul. Numai că, în vreme ce la om, acest proces are ca scop aprovizionarea cu oxigen a tuturor țesuturilor, la leguminoase țelul este îndepărtarea lui din zona de activitate a nitrogenazei. În afară de *Rhizobium*, care trăiește în simbioză cu leguminoasele, există și o bacterie din grupul actinomicetelor *(Frankia)*, care trăiește în simbioză cu arinul și alte plante, furnizîndu-le azotul necesar. Aceste bacterii — atît *Rhizobium*, cît și *Frankia* — pătrund în perișorii radiculari ai

plantelor. Pe rădăcinile plantelor infectate se formează niște umflături specifice numite nodozități, în care bacteriile se înmulțesc și fixează azotul.

În 1974, aproape simultan, cercetătoarea braziliană Johanna Döbereiner și cercetătorul francez Yvon Dommergues au descoperit un grup de bacterii fixatoare de azot care trăiesc în interiorul rădăcinii a numeroase plante. Nu este vorba de o simbioză propriu-zisă, presupunînd adaptări specifice ale partenerilor la acest fel de viață, relațiile fiind considerate simple asociații, iar fenomenul fiind denumit fixare asociativă. Relații de acest fel s-au pus în evidență la grîu (Ciumenkov ș.a., 1986), între *Kleosiella* și orez (Yoo ș.a. 1986), între *Azospirillum* și porumb, sorg și gramineea furajeră, *Settaria italica*, la toate aceste plante constatîndu-se sporuri de recoltă de 20—128% (Köhler, 1985). Tot la graminee furajere, Beresterțki ș.a. (1985), prin inoculare cu fixatori de azot asociativi, au obținut sporuri de producție de 3,36—21,79%.

Procesul fixării azotului fiind o reacție de reducere, el nu poate avea loc decît cu consum de energie (contrar oxidării, care generează energie). Din acest punct de vedere probleme nu se pun pentru cianobacterii, care, posedînd clorofilă, folosesc cantitățile nelimitate de energie solară. Bacteriile ce trăiesc în simbioză cu leguminoasele folosesc substanțe organice bogate în energie furnizate de către plantele-gazdă. Fixatorii liberi de azot trebuie să-și procure însă energia necesară proceselor vitale, inclusiv fixării, din sol. Ele sînt microorganisme heterotrofe și, în plus, foarte pretențioase în ceea ce privește sursa de energie: nu pot utiliza polimeri organici larg răspîndiți în sol (substanțe humice, polizaharide — în primul rînd celuloza —, lignine),

ci doar substanțe organice cu moleculă simplă (zaharuri simple, unii alcooli). Aceste substanțe pot fi utilizate de către foarte multe microorganisme, multe din ele cu o creștere deosebit de rapidă. Ele invadează practic întreg substratul cu substanțe bogate în energie, împiedicînd accesul fixatorilor de azot. Datorită acestui fapt, fixatorii de azot sînt foarte slab răspîndiți în sol (cîteva mii de celule la un g sol), iar cantitățile ce le fixează microorganismele nesimbiotice sînt minime (5—20 kg/ha).

Atunci cînd însă în sol intervine o penurie de azot, celelalte microorganisme sînt oprite în dezvoltare și microorganismele fixatoare pot utiliza substanțele bogate în energie pe care le preferă, manifestîndu-și în schimb capacitatea fixatoare și restabilind echilibrul. În mod frecvent acest fenomen are loc atunci cînd în sol ajung multe resturi vegetale, care furnizează microflorei mari cantități de energie și aceasta se dezvoltă pînă ce utilizează integral rezerva de azot a solului. Fenomenul se petrece în mod natural la încheierea ciclului de vegetație, toamna, sau atunci cînd omul încorporează în sol paie.

Microorganismele fixatoare de azot realizează adevărate asociații legale (Gyryan, 1986) și cu microorganismele celulolitice: acestea descompun celuloza și furnizează energia necesară, iar fixatorii de azot îmbogățesc mediul în acest element (fig. 19).

Prin urmare, azotul ca și carbonul, evoluează ciclic în natură, iar elementul care furnizează energia necesară acestor transformări ciclice este carbonul. Carbonul este introdus în sol prin activitatea florei fotosintetizatoare (ale căruri resturi ajung în sol) și efectul aportului de carbon este dublu: pe timp scurt, blocarea azotului în plasma microorganismelor și privarea plantelor de cultură de acest element de

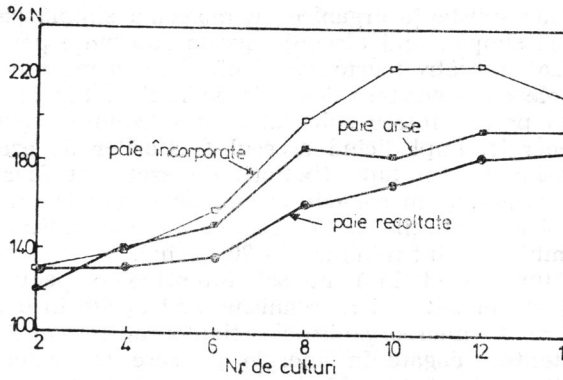


Fig. 19. Modificarea conținutului în N al solului în funcție de încorporarea sau îndepărtarea paielor

primă importanță în nutriție; pe termen lung — creșterea rezervei solului prin fixare. Compușii organici cu azot rezultați din fixare sînt mineralizați, în final ajungîndu-se la nitrați. Trebuie să observăm că solul utilizează și reutilizează întreaga cantitate de azot care poate fi folosită, în funcție de rezerva de carbon organic (purtător de energie). Nitrații formați în sol reprezintă numai acea parte a azotului ce nu mai poate fi reutilizată din lipsă de energie. Prin urmare cantitatea de nitrați formată în sol reprezintă, pe de o parte, principala contribuție a solului la formarea mult mai puțin rentabilă (Hera și Ghinea, 1982), pe de altă parte — o măsură a pierderilor suferite de potențialul de fertilitate al solurilor. Se impune ca această pierdere de potențial să fie folosită cît mai complet, pe de o parte, pentru o justificare economică, pe de alta — pentru a împiedica poluarea cu nitrați.

Cu cît cantitatea de nitraţi formaţi este mai mare, cu atît producţia vegetală ce se obţine este mai ridicată, iar resturile vegetale ce vor ajunge în sol ar fi mai abundente blocînd procesul de mineralizare a azotului şi sporind cantitatea azotului fixat. Această interconexiune între circuitul carbonului şi azotului a asigurat timp de milenii fertilitatea naturală a solului.

În condiţiile în care omul preia o parte din producţie cu recolta, el sustrage reciclării cantităţi însemnate de materie organică, ceea ce se traduce în primul rînd printr-o penurie crescîndă de azot în solurile agricole. Timp de peste 10 mii de ani de cînd practică agricultura, omul a căutat diferite soluţii împotriva scăderii potenţialului natural de fertilitate datorită penuriei de azot în primul rînd.

Prima soluţie a fost agricultura itinerantă, părăsirea parcelei devenită nefertilă şi mutarea ogorului alături, pe terenul neexploatat. Acest sistem presupune o populaţie rară, un surplus de teren. El a fost practicat de toate populaţiile în decursul istoriei.

O variantă ceva mai evoluată a reprezentat-o aşa-numitul „ogor negru", sistem de agricultură în care o suprafaţă de teren era lucrată, menţinută liberă de vegetaţie, dar nu era însămînţată. Oprind aproape total intrările de materie organică purtătoare de energie (distrugînd flora spontană prin lucrări şi neînsămînţînd plante de cultură), se forţa maximalizarea proceselor de mineralizare a azotului şi acumularea unei rezerve de nitraţi în sol. Trebuie observat însă că acest sistem reprezintă o dublă pierdere: sustragerea unei suprafeţe de teren utilizării în agricultură şi pierderi relativ ridicate de azot nitric, în special prin levigare.

Soluții cum sînt cele oferite de agricultura itinerantă sau ogorul negru au devenit de neconceput în țări în care populația umană s-a înmulțit intens (Europa Occidentală, China). În aceste zone s-au căutat și s-au găsit alte soluții. Una din acestea a pornit de la observația, datînd cum s-a arătat din antichitate, că leguminoasele măresc fertilitatea solului (datorită simbiozei lor cu bacterii fixatoare). Pornind de la această constatare s-a imaginat un sistem de agricultură cu o succesiune de culturi, în care intra întotdeauna și o leguminoasă cu rol de ameliorare a fertilității solului. De o largă răspîndire ca plantă amelioratoare s-a bucurat trifoiul folosit ca furaj pentru animale. Trifoiul a fost larg utilizat și în Transilvania, mai ales în zonele mai puțin fertile (de deal și premontane), iar utilizarea lui timp de cîteva secole s-a soldat cu îmbunătățirea netă a calității solurilor.

O altă soluție — găsită de asemenea încă de antici — a fost reintroducerea azotului extras, după utilizarea sa de către animale, respectiv utilizarea dejecțiilor animale în fertilizarea solurilor.

Observații empirice au dus la concluzia că unele săruri minerale conținînd azot sporesc puternic producția agricolă: era cazul salpetrului de India (azotat de sodiu) și de Chile (azotat de potasiu), dar metoda folosirii unor astfel de substanțe rămînea limitată, datorită, pe de o parte, slabei răspîndiri a sărurilor nitrice în natură, pe de alta — datorită lipsei de cunoștințe teoretice privind nutriția plantelor. Atunci cînd Albrecht Thaer a elaborat, acum 200 de ani, teoria nutriției plantelor cu humus*,

* De fapt Thaer a afirmat în 1828 că humusul este principalul agent al creșterii plantelor; exagerările exclusiviste aparțin — ca totdeauna — epigonilor („Școala humistă").

pornind de la observația că solurile negre, cele mai fertile, dau cele mai mari producții vegetale, trebuie să recunoaștem că el nu progresase foarte mult față de Aristotel care vedea planta ca pe un animal fixat cu gura în pământ, hrănindu-se, și în concepția filozofului Stagirit, tot cu humus.

Observația unor cercetători din secolul al XVIII-lea (Priestley, Ingen-Housz) că plantele conțin azot a reprezentat un pas înainte. Presupunerea că originea acestui azot era direct din aer, preluat sub formă amoniacală (de Saussure, Liebig, Boussingault), deși incorectă în sine, a permis concluzia necesității folosirii unor săruri minerale cu azot în fertilizare. Începînd cu secolul al XIX-lea, pentru îngrășarea ogoarelor au început a fi folosite și deșeuri industriale azotate, dar cantitățile disponibile rămîneau limitate.

Elaborarea unui procedeu de reducere a azotului atmosferic la amoniac („procedeul Haber-Bosch") a deschis calea spre producerea industrială a îngrășămintelor cu azot și folosirea lor masivă în agricultură.

Generalizarea fertilizării minerale cu azot nu s-a făcut fără opoziții.

Timpul a eliminat însă complet obiecțiile aduse chimizării. Există astăzi în lumea întreagă experiențe vechi de peste un secol în care s-a practicat o fertilizare strict minerală, fără ca acest fapt să fi redus fertilitatea solului ci, dimpotrivă: fertilizarea minerală a provocat creșterea producției agricole, ceea ce a dus și la sporirea cantității de resturi vegetale rămase în sol, conținutul în humus al pământului crescînd încet, dar continuu. Asemenea experiențe există la Rothamsted în Anglia

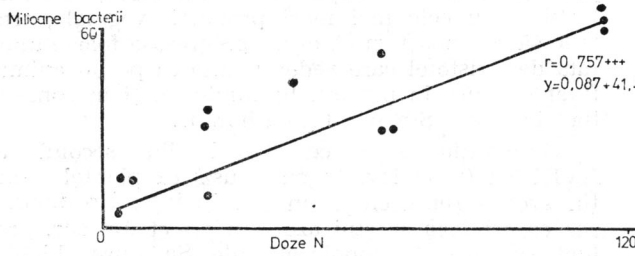


Fig. 20. Influența îngrășării cu uree asupra numărului total de microorganisme în cernoziom mediu levigat (mil/gr sol la analiză) Germania

(cele mai vechi), la Grignon (în Franța), la Askow (Danemarca), la Halle-Salle (în Germania), la Solikamsk (în U.R.S.S.), etc. Îngrășarea cu azot mineral sporește și numărul microorganismelor din sol (fig. 20).

Cercetările întreprinse au evidențiat de asemenea modificări reduse ale calității alimentelor sub influența fertilizării minerale, de multe ori în favoarea acesteia (Ghinea, 1979). Înrăutățirea balanței energetice a lumii în deceniul al VIII-lea al secolului nostru a făcut însă fertilizarea cu azot mult mai puțin rentabilă (Hera și Ghinea, 1982i, deoarece reducerea azotului gazos la amoniac se face cu ridicate costuri energetice.

Au început deci a se căuta soluții de înlocuire sau completare pentru îngrășămintele minerale cu azot. Soluțiile cele mai des citate nu sînt noi, și reprezintă reluarea unor tehnici vechi: folosirea îngrășămintelor organice și intensificarea folosirii biologice a azotului.

Cercetări întreprinse în România, ca și în multe alte țări din lume (S.U.A., Marea Britanie, Germania, etc.) au arătat că, dacă fertilizarea cu azot mineral dă rezultate net superioare fertilizării organice, fertilizarea mixtă, organo-minerală, dă rezultatele cele mai bune.

Utilizarea resturilor organice ca îngrășământ s-a dovedit în toate cazurile măsura care poate aduce la echilibru ieșirile de azot din sistemul solului (preponderent prin recoltă) cu intrările lui în sol. Numai prea puține țări din lume, care practică o agricultură super-intensivă pe suprafețe restrînse (Japonia, Marea Britanie, Olanda și Danemarca), își pot permite să reintroducă în sol, cu îngrășăminte, tot azotul preluat sub formă de recoltă. În majoritatea covîrșitoare a țărilor lumii (și între acestea sînt țări atît de diferite ca S.U.A., U.R.S.S. și România), în jur de 50% din azotul preluat de planta de cultură provine din mineralizarea humusului. În Germania de Vest, spre exemplu, în 1971 intrările de azot în sistemul solului erau de 150 kg/ha (îngrășăminte minerale 83, îngrășăminte organice 40, sămînța — 2, prin fixare cu ajutorul simbiozei leguminoase — *Rhizobium* — 10, prin fixare liberă — 10, cu apa de precipitații — 10) față de 153 kg N/ha ieșiri (106 cu recolta, 30 prin denitrificare și 17 prin levigare). În același timp, 545 mii tone N erau produse anual și nu erau reciclate:

— 9 680 682 de vite mari produceau 190 176 000 m^3 gunoi și urină cu un conținut de 4 kg N/m^3;

— 2 379 202 de porci produceau 30 729 00 m^3 dejecții cu un conținut de 5,5 kg N/m^3;

— 4 014 200 de păsări produceau 6—18 mii t gunoi cu 80% substanță uscată și 30 kg N/t;

— o cantitate mai greu apreciabilă de azot provenea din dejecțiile de la circa 243 730 de cai și 76 150 de oi și capre.

Aplicînd la cifrele de mai sus o corecție legată de faptul că aproximativ 45% din azotul de mai sus este pierdut (prin denitrificare, levigare etc.), rezultă că în 1975 Germania de Vest avea un disponibil de 545 000 tone azot nefolosit.

În fertilizare pot fi folosite chiar și resturile organice sărace în azot deoarece acestea, prin conținutul lor în hidrocarbonă, stimulează fixarea și îmbogățesc solul în azot (fig. 21). Prin folosirea resturilor vegetale în fertilizare, doza de îngrășăminte minerale necesare pentru a obține producția maximă de grîu scade de la 155 la 136 kg pe ha, pe teren neirigat și de la 190 la 153 kg/ha, pe teren irigat (Hera ș.a., 1980), la sfecla de zahăr doza optimă scade de la 250 kg/ha (în cazul fertilizării exclusiv minerale) la 181 kg/ha (dacă se aplică 40 t/ha gunoi), la 212 kg/ha (20 t/ha gunoi) și 228 kg/ha dacă se aplică 6 t paie/ha (Tianu ș.a., 1982).

Cercetări foarte amănunțite s-au întreprins în această privință în Germania de Vest unde se practică, pe scară largă, atît fertilizarea cu paie, cît și arderea resturilor vegetale rămase după recoltarea grîului și orzului (arderea miriștii). Cercetările au arătat că în cazul unei culturi intensive de grîu, la care se arde miriștea, intrările de azot sînt de 217 kg/ha (190 cu îngrășăminte minerale, 9 cu îngrășăminte organice, 4 cu semințe, 3 prin contribuția fixării la leguminoase premergătoare, 10 prin fixare liberă și 10 cu apa de precipitații), în vreme ce ieșirile sînt de 225 kg/ha (132 cu recolta, 38 cu paiele arse, 30 prin denitrificare și 25 prin levigare). În

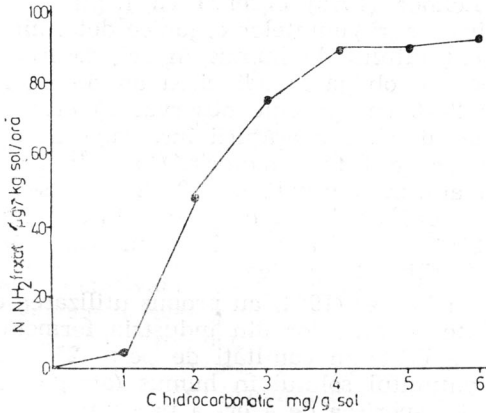


Fig. 21. Stimularea fixării azotului în sol prin îmbogățirea acestuia în hidrocarbonate

aceleași condiții, dacă se face fertilizarea cu paie, intrările de azot cresc la 235 kg/ha (208 cu îngrășăminte minerale, 40 cu îngrășăminte organice — inclusiv paiele — 4 cu semințele, 3 prin fixare la leguminoase, 10 prin fixare liberă și 10 cu apa de precipitații), iar ieșirile scad la 197 kg/ha (132 cu recolta, 40 prin denitrificare și 25 prin levigare).

Velly și Longueval (1976) au constatat că, după desțelenire, conținutul solului în humus scade brutal, azotul din humusul mineralizat contribuind cu peste 50% la azotul extras cu recolta. Fertilizarea minerală și încorporarea în sol a cocenilor tocați permit însă stabilizarea și chiar creșterea conținutului de humus din sol. Flaig ș.a. (1975), de Haan (1976) au observat în acest sens că paiele sînt inferioare cocenilor, care, mai bogate în lignină, produc în sol mai mult humus.

De Lehner (1976) observă că neglijarea rotației și lipsa îngrășămintelor organice determină scăderea conținutului de humus în sol, tasarea acestuia, ceea ce obligă la adîncirea an de an a arăturii cu 2—3 cm (trebuie observat că orice centimetru de adîncime a arăturii înseamnă un consum suplimentar de 1 tonă motorină/ha!). În acest fel, de la o arătură normală de 20—22 cm, s-a ajuns la 35 cm, dar producția de grîu a fost și în acest caz cu 25% mai mică decît în cazul respectării rotației și fertilizării organice.

Filip și Müller (1984) au propus utilizarea ca îngrășăminte a resturilor din industria fermentativă. Acestea, aplicate în cantități de peste 25 t/ha, au sporit conținutul solului în humus (atrage în special atenția sporirea de 4 ori a procentului de acizi huminici), au îmbunătățit structura fizico-mecanică (procentul de agregate de sol favorabile creșterii plantelor și stabilitatea acestora la acțiunea distructivă a apei) și structura biologică (numărul de bacterii și ciuperci microscopice).

În fertilizare pot fi folosite și resturile de la exploatarea lemnului (Cappaert ș.a., 1976) dar numai după compostare (în stare proaspătă sînt bogate în polifenoli toxici pentru plante). Un patent pentru transformarea resturilor de lemn în îngrășăminte a fost elaborat și în țara noastră.

În ceea ce privește folosirea azotului fixat biologic, au fost preconizate mai multe căi, unele cu aplicabilitate imediată, altele pe termen mai lung:

a) utilizarea cît mai completă a potențialului actual, prin sporirea eficienței simbiozei *Rhizobium*-leguminoase;

b) sporirea cantității de azot fixat prin extinderea suprafețelor cultivate cu leguminoase;

c) sporirea eficienței, folosirea posibilităților oferite de fixarea asociativă;

d) folosirea posibilităților oferite de ingineria genetică.

În prezent, pentru ridicarea producției leguminoaselor, pentru sporirea contității de azot pe care acestea o lasă în sol, se folosește tratarea seminței cu culturi de bacterii din specia *Rhizobium*. Sistemul a fost practicat empiric timp de sute de ani de către țăranii chinezi, care transportau solul din parcela cultivată cu soia în parcela pe care urma să se semene această plantă, aducînd astfel bacteriile simbiotice. Procedeul era greoi și avea în plus dezavantajul de a transporta uneori și microorganisme patogene pentru leguminoase. De aceea, Noble și Hiltner (1896) l-au înlocuit cu biopreparate speciale obținute prin cultivarea microorganismelor din genul *Rhizobium* pe soluții nutritive speciale (medii de cultură), la care se adaugă o substanță care le dă o consistență de gel (agar-agar sau gelatină).

Asemenea biopreparate (sub denumirea de Nitragin) se fabrică cu deosebit succes și în România* de peste 3 decenii, pentru toate speciile de leguminoase cultivate (pe flacon se specifică, „Nitragin-soia", „Nitragin-lucernă" etc.), tratamentele fiind ieftine și deosebit de eficace în sporirea producției.

Biopreparatele pe bază de *Rhizobium* influențează favorabil recolta leguminoaselor nu numai prin azotul fixat ci și prin prezența unor substanțe care, în plantă, joacă un rol de hormoni. Cercetătorul Tu (1979) a constatat că *Rhizobium* se comportă ca un hiperparazit pentru unele ciuperci parazite ale le-

* Încercările experimentale datează din deceniul al IV-lea.

guminoaselor, reducîndu-le atacul cu 75% în cazul ciupercii *Phytophtora megasperma*, cu 65% în cazul ciupercii *Pythium ultimum*, cu 47% în cazul ciupercii *Fusarium orysporum* și cu 35% în cazul ciupercii *Aschochita imperfecta*.

Astfel, la lucernă, Bălan și colaboratorii (1979) au obținut sporuri de peste 14 q/ha pe solul brun luvic de la Livada și de 8,7 q/ha pe cernoziomul de la Caracal. La soia, Prodan (1987) a obținut sporuri de 2,5—6,1 q/ha (în medie 2,9 q/ha), ceea ce, la o producție nefertilizată de 27,2 q/ha înseamnă foarte mult (mai ales că fertilizarea minerală a dat un spor maxim de 1,9 q/ha). Tomoroga și colaboratorii (1988) au obținut și ei sporuri de 9—14% la soia, egale cu o doză de 100 kg N/ha.

Varietățile (în cazul bacteriilor, în limba română se folosește termenul de tulpini) de *Rhizobium* selecționate în România, se numără de mulți ani printre cele mai eficiente din lume: Hera și colaboratorii (1975) au constatat că, față de o producție de 1 860 kg soia/ha, obținută în varianta nefertilizată și de 2 060 kg/ha, obținute în varianta fertilizată cu 64 kg N/ha (doza optimă de îngrășămînt mineral), bacterizarea cu tulpina „Ethan" de la Nitrogen Company (S.U.A.) a asigurat 2 660 kg/ha, iar tulpina românească SO, 567 — 2 770 kg/ha.

Leguminoasele bacterizate cu *Rhizobium* sînt de o calitate superioară, conțin mai multe proteine: Davidescu și colaboratorii (1975) au înregistrat sporuri semnificative de proteine la tratarea, în 6 cazuri din 8 (într-un caz sporul a fost de 1,95%, nesemnificativ, și într-un caz conținutul de proteină nu s-a modificat). Rezultate similare au obținut Kalisch și Gisela Höflich (1988).

Efectul favorabil al biopreparatului pe bază de *Rhizobium* se obține numai printr-o aplicare co-

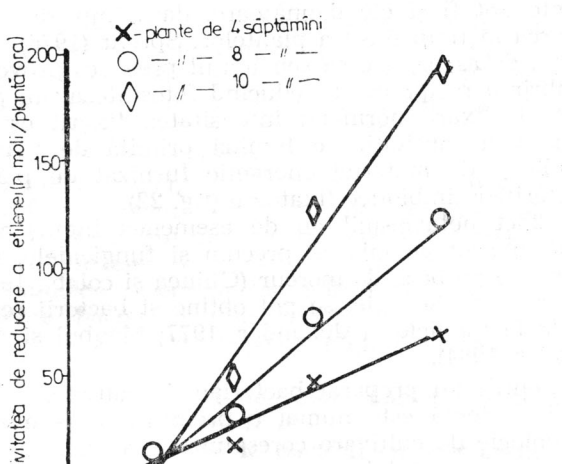


Fig. 22. Efectul intensității luminii asupra fixării azotului

rectă: tratamentul trebuie făcut la adăpost de razele soarelui și sămînța tratată trebuie introdusă în pămînt înainte de a se usca suspensia (la tratarea leguminoaselor pentru boabe cu suspensii de *Rhizobium)* sau cît mai curînd după tratare, în orice caz.

Seceta sau înghețul de după semănat au efect foarte nefavorabil. Vorobieva (1982) a constatat o reducere de 31,9—75,5% a eficienței fixării azotului în cazul în care un îngheț survine pînă la creșterea a 6—7 frunze la mazăre. Ploile prea abun-

dente pot fi și ele dăunătoare, dacă împiedică răsărirea în timp scurt a plantelor. Sprent (1976) constată, de asemenea, că semănatul prea des provoacă umbrirea reciprocă și, reducînd fotosinteza, nu permite o fixare normală: intensitatea fixării este o funcție a cantității de lumină primită de plante-gazdă și de material energetic furnizat de plante bacteriilor simbiotice fixatoare (fig. 22).

Efect nefavorabil au de asemenea îngrășămintele cu azot amoniacal, precum și fungicidele, mai ales cele pe bază de mercur (Ghinea și colab., 1975). Totuși, prin selecție, se pot obține și bacterii rezistente la fungicide (Alexander, 1977; Maqbul și Alexander, 1984).

Pentru un preparat bacterian de calitate, o tulpină eficientă este numai o premisă: se cere și o tehnologie de cultivare corespunzătoare. Soluția obținerii preparatului pe agar este tot mai puțin economică pe măsura creșterii prețului acestui ingredient. Cele mai răspîndite sînt preparatele pe turbă, deși s-a propus și cultivarea pe ciocălăi de porumb mărunțiți cu amestec de superfosfat, azotat de amoniu, calcar și apă (Corby, 1976).

În general însă, îmbunătățirea calității biopreparatului este de așteptat numai prin noi succese în munca de selecție a unor tulpini superioare de *Rhizobium*. Noile tulpini trebuie să prezinte simultan trei calități: mare capacitate de fixare a azotului, competitivitate (adică posibilitatea de a infecta plantele-gazdă, chiar dacă în sol există și tulpini „sălbatice“ de *Rhizobium*, cu care se angajează într-o adevărată „cursă de viteză“ pentru a infecta leguminoasele) și capacitatea de a supraviețui și a se înmulți în sol în absența leguminoasei-gazdă (numită, de Chatel ș.a., 1968 „competitivitate saprofită“).

Astăzi cei ce se ocupă de selecția tulpinilor de *Rhizobium* pot folosi tehnicile noi introduse în selecția bacteriană: conjugarea (Hermann, 1968; Kaushik și Venkatamuran, 1972), transformarea (Balassa, 1963; Raina și Modi, 1971), transducția (Kowalski, 1971; Sik și Orosz, 1971).

Piedica principală în mărirea competitivității saprofite este sensibilitatea bacteriilor din genul *Rhizobium* la virusul patogen (bacteriofagul specific) și la antibioticele secretate în sol de către ciuperci și actinomicete. Denarie ș.a. (1976) au arătat că rezistența bacteriilor din genul *Rhizobium* la bacteriofagul specific se poate obține pe trei căi diferite:

— prin obținerea de celule bacteriene pe care bacteriofagii nu se pot fixa;

— prin obținerea de bacterii cu membrane impermeabile pentru bacteriofagi;

— prin obținerea de bacterii care nu reproduc în celule bacteriofagul (prin reducerea sau chiar absența replicării acidului nucleic al bacteriofagului sau a sintezei proteinei acestuia).

Din punctul de vedere al rezistenței la antibiotice, bacteriile din genul *Rhizobium* se împart în trei grupe:

1 — rezistente la cloramfenicol, streptomicină, spiramicină, antibiotice care inhibă sinteza proteică, calitate independentă de fixarea azotului;

2 — rezistente la penicilină, novobiocină și kanamicină, antibiotice care inhibă sinteza membranei bacteriene (50% din tulpinile din această grupă își pierd total capacitatea de fixare);

3 — rezistente la neomicină și viomicină, inhibitoare și ele ale sintezei proteinei, cele mai multe tulpini fiind complet lipsite de capacitatea de a fixa azotul.

În ceea ce privește cea de a doua cale, extinderea suprafețelor ocupate cu leguminoase, în calea sa stau nu numai decizii birocratice de planificare din diferite țări ale lumii, ci și unele obiceiuri alimentare căpătate în secolul nostru, precum și realitatea incontestabilă că productivitatea leguminoaselor este inferioară cerealelor.

În general există tentația de a crede că bacteriile fixează azotul cu un randament energetic superior celui obținut în industrie. În multe lucrări se poate chiar citi că lucrurile stau astfel, dar în realitate lucrurile stau altfel: rădăcina primește 34% din produsul de fotosinteză al plantelor de soia (Paul și Clark, 1989) din care ea însăși folosește 15%, micoriza 7%, nodozitățile 12% (10% în respirație, 2% în asimilarea azotului). Köhler (1985) a constatat că nodozitățile lupinului primesc 185 g carbon organic, sub formă de compuși fosforici (ATP). Aproximativ 213—214 moli ATP servesc la fixarea a 100 g azot (dintre aceștia, nitrogenaza, împreună cu o hidrogenază auxiliară folosesc 150—171 moli, 19 moli servesc la asimilarea amoniacului format, 18 la transportul compușilor sintetizați, 17 la menținerea funcțională a nodozităților, 9 la creșterea acestora).

Nodozitățile transferă plantei 92% din azotul fixat, 55—65% din acesta regăsindu-se în păstăi (Douglas și Wekwer, 1986).

Datorită folosirii energiei sub formă de ATP, eficiența fixării corelează cu conținutul solului în fosfor (fig. 23) și crește la fertilizarea fosfatică, cu atît mai puternic cu cît activitatea fixatoare a tulpinii de *Rhizobium* este mai puternică (fig. 24).

În general, recolta leguminoaselor corelează cu masa nodozităților formate și cu perioada de timp cît acestea rămîn active.

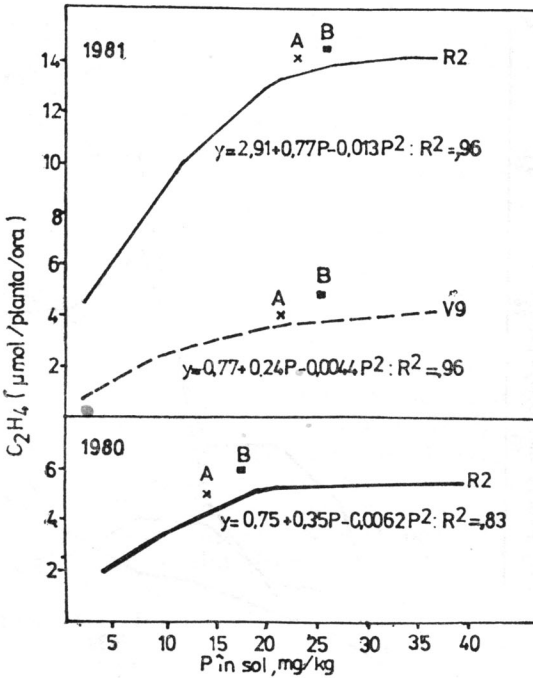


Fig. 23. Relația între conținutul solului în P și fixarea N_2 în nodozitățile de soia (exprimate în C_2H_4 produs)

Prin sustragerea unei părți din produsul fotosintezei, fixarea simbiotică reduce potențialul productiv al plantelor: de aceea leguminoasele au producții de semințe mai mici decît cerealele.

Plantele care nu formează simbioze fixatoare au o singură cale de utilizare a azotului: prin absorbția

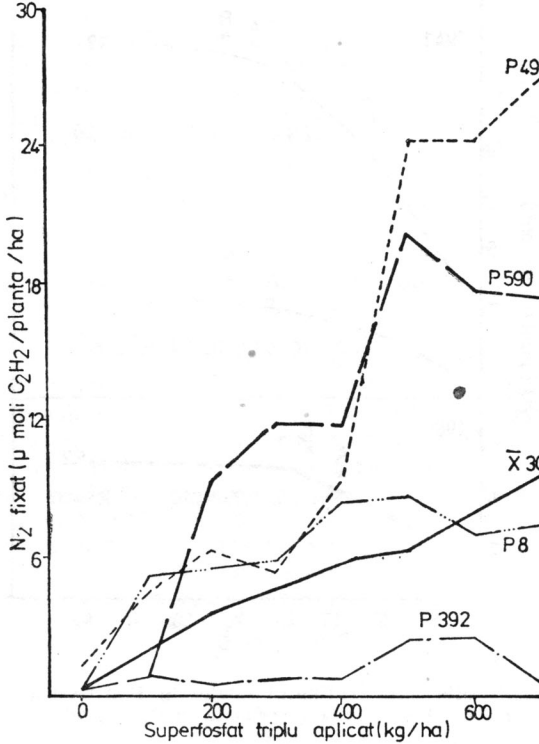


Fig. 24. Fixarea N_2 cu diferite linii de fasole în funcţie de fertilitatea fosfatică

nitraţilor (proveniţi din sol sau îngrăşământ), urmată de reducerea lor la amoniac prin acţiunea nitrat-reductazei. Leguminoasele au două căi de producere a amoniacului: nitratreductaza şi nitrogenaza, care

funcționează alternativ (atunci cînd există suficient azot combinat este blocată nitrogenaza, pentru economisirea energiei). În perioadele de creștere activă a plantelor acestea folosesc însă ambele căi de asimilare a azotului (Wey ș.a., 1986). Avînd în vedere că azotul din sol poate fi folosit în mod egal de leguminoasele cu și fără nodozități (Puech și Bonwels, 1986), rămîn două căi de utilizare a fixării simbiotice a azotului:

— o cale economică, ce are în vedere obținerea de recolte bune și constante fără îngrășăminte cu azot: „leguminoasele furajere — trifoi, lucernă și altele — își acoperă nevoia de azot în întregime prin fixarea azotului în nodozități. Nimănui nu i-ar veni ideea de a fertiliza aceste culturi cu azot mineral, asemenea gramineelor" (Doran, 1986);

— a doua cale, pentru obținerea de recolte maxime, are în vedere folosirea simultană a azotului fixat și a celui mineral, folosind așa-numite „tulpini derepresate", capabile de a reduce activ azotul în prezența amoniului (Hera și Ana Popescu, 1979) și tehnici speciale de administrare a îngrășămintelor — fertilizare fazială (Hera și colab., 1984) sau îngrășăminte incapsulate din care azotul difuzează treptat în sol (Bouniols ș.a., 1989).

Căile neconvenționale de utilizare a fixării biologice a azotului reprezintă un subiect adesea abordat în viitorologie. Există totuși un subiect marginalizat atît în literatura de strictă specialitate, cît și în sintezele de largă prospecțiune de care aminteam: simbioza plantelor cu actinomiceta fixatoare *Frankia*. Totuși Lixandru ș.a. (1983—1984) au semnalat, la cătina albă, plantă cu importante aplicații în farmacie, fixarea unor cantități de 20—79 Kg/N/ha, în funcție de aciditatea (pH-ul) solului (fig. 25).

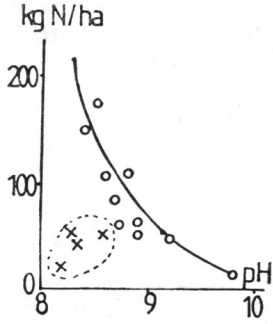


Fig. 25. Variația conținutului total de N acumulat în masa vegetativă aeriană funcție de pH solului

De obicei viitorologii au în vedere adaptarea bacteriei *Rhizobium* la alte plante decît leguminoasele, transferul informației la bacterii ce trăiesc în mod curent pe rădăcinile altor plante cultivate, creșterea bacteriilor fixatoare libere pe resturi celulozice, pe care să le îmbogățească în azot (urmînd ca acestea să le folosească drept furaje, îngrășăminte etc.).

O altă cale ar fi transmiterea informației genetice pentru fixarea azotului (așa-numitul „complex nif") de la bacterii care trăiesc în mod curent pe rădăcinile plantelor cultivate. Deocamdată rezultatele în această direcție sînt mult mai modeste, cercetătorii din diferite țări (inclusiv din România) reușind numai transferul complexului nif între două specii foarte înrudite și absente ambele din solurile normale. Ar mai fi utilizabilă obținerea așa-numitelor tulpini „hiperfixatoare", cu fixare deosebit de intensă și care s-ar putea folosi fie la îmbogățirea în azot a resturilor celulozice (în vederea folosirii lor ca furaje, îngrășăminte etc.), fie în infectarea rădăcinii plantelor de cultură, cărora să le furnizeze

azotul necesar. În fine, se consideră posibil transferul complexului nif de la bacterii direct plantelor de cultură, care ar deveni astfel independente de sursa de azot. Acest proces, aparent mai dificil (este vorba de transfer de informație genetică între organisme foarte diferite), are avantajul că nu necesită „decît" soluționarea unor probleme genetice (transfer de informație de la procariote la eucariote), nu și a unor dificile probleme ecologice legate de implantarea unor specii bacteriene noi pe rădăcinile plantei de cultură.

Cercetătorii știu astăzi să facă să fuzioneze celule care în mod normal nu au funcție reproducătoare (de pildă celule de pe epiderma frunzelor) chiar celulele provenind de la specii foarte diferite. Ei „rup" în acest scop peretele celulelor vizate (folosind același „tun" enzimatic de care am mai vorbit sau cîmpuri electrice cu frecvență, forță sau durată strict determinate), după care celulele se contopesc și își refac membrana „avariată" (problemele ce se pun sînt, firește, mult mai complicate, dar am simplificat pentru ușurarea înțelegerii).

Un prim succes în această privință s-a înregistrat prin transferarea complexului nif de la *Azotobacter vinelandii* la ciuperca *Rhizopogon,* cu păstrarea funcționalității complexului. S-a realizat, de asemenea, includerea cianobacteriei *Gloeocapsa* în protoplaști de tutun și porumb. Acest fapt nu echivalează cu realizarea de eucariote fixatoare de azot, cîtă vreme nu știm nimic de stabilitatea genetică a „hibridului", modul de distribuție a genelor nif în țesuturi, modul în care se poate asigura protecția complexului nif față de oxigen, asigurarea acestuia cu energie prin sisteme eficiente de transport al electronilor etc.

Așadar azotul, ca și carbonul, este utilizat ciclic în natură. Circuitul azotului este de fapt reglat de intrările de energie, prin intermediul circulației carbonului. Asigurarea unei mari rezerve de azot în sol (în special prin intensificarea fixării), o mineralizare a azotului organic în ritm înalt și corelată cu necesitățile plantelor, reprezintă condiții esențiale atît pentru producția agricolă ridicată, cît și pentru menținerea fertilității solului.

4. ... Și alte elemente evoluează ciclic

Viitorul fizicii depinde de biologie
G. P. Thompson

Utilizarea ciclică a tuturor elementelor este o lege absolută a naturii, singura soluție de a evita epuizarea lor de-a lungul miliardelor de ani ce s-au scurs de la apariția vieții pe planeta noastră. Sub acest aspect este deosebit de interesant să examinăm în linii mari *circuitul fosforului,* al cincilea element ca importanță pentru organismele vii (după carbon, hidrogen, oxigen și azot).

În organismele vii fosforul are o funcție foarte importantă, energia obținută prin procese de fotosinteză (în cazul organismelor fototrofe) sau de respirație (în întreaga lume vie) fiind stocată, pînă la utilizarea sa în diferite procese metabolice, în compuși organici cu fosfor (așa-numiții „compuși macroergici"). Compușii macroergici joacă în natură același rol pe care-l au acumulatorii în economia umană, mai bine zis acel pe care ar trebui să-l aibă, pentru că, din diferite motive (costul ridicat al acumulatorilor, penuria unor materiale folosite în pro-

ducerea lor, poluare) cea mai mare parte a energiei se folosește direct, fără a fi stocată, ceea ce are numeroase consecințe economice negative (ar fi, desigur, foarte interesant ca energia electrică produsă de fotocelule, prin conversia energiei luminoase a soarelui, să poată fi stocată și apoi utilizată iarna). Natura a rezolvat această problemă prin utilizarea compușilor organici cu fosfor.

Marele biolog darwinist Huxley, încă acum un secol, a analizat raportul între concentrațiile diferitelor elemente în organismele vii și în scoarța terestră. El a ajuns la concluzia că elementul aflat în scoarță în cele mai mici concentrații (raportîndu-se la nevoile organismelor vii) este fosforul și, deci, expansiunea continuă a lumii vii va fi oprită la un moment dat de penuria de fosfor. Huxley a conchis că este deosebit de importantă utilizarea rațională a rezervelor de fosfor existente, propunînd și o soluție foarte actuală împotriva risipei acestui foarte prețios element: recuperarea fosforului din apele de canalizare, fosfor care (atunci, în mare parte și astăzi) se pierde fără folos în imensitatea Oceanului Planetar.

Oceanul Planetar conține de altfel cea mai mare parte a rezervei de fosfor (840 miliarde t, din care 80 milioane t dizolvat, iar restul în sedimente).

Pentru fertilizarea solurilor și consumurile industriale, în special la fabricarea detergenților, se recurge la exploatarea rezervelor de rocă fosfatică (19 milioane tone). O rezervă mult mai mare (96—190 milioane tone) există în soluri, dar ea nu este utilizată în prezent. Datele din fig. 26 demonstrează elocvent că, paralel cu creșterea extracției mondiale de fosfați în perioada 1950—1975 a avut loc și evacuarea lor în bazinele acvatice, astfel că

s-au pierdut pentru economia umană și au provocat „înflorirea" (eutrofizarea) apelor, fenomen prin care algele, crescute masiv, consumă oxigenul necesar peștilor.

Instalarea unor sisteme de recuperare a permis, așa cum se vede (fig. 27), scăderea concentrației de fosfor în cîteva bazine acvatice (Tamisa, Rhin) cu toată creșterea cantității de fosfor în apele de scurgere. Eficacitatea acestor măsuri este incontestabilă, dar din păcate sîntem foarte departe de generalizarea lor la scară planetară.

Rezervele limitate de fosfați naturali (epuizabile în cîteva decenii), utilizarea lor tot mai intensă, mai ales în agricultură (țările bogate folosesc cantități mai mari de îngrășăminte decît sînt necesare pentru a-și crea rezerve în soluri), pun probleme dramatice pentru viitorul producției de alimente.

Soluțiile legate de obținerea fosforului prin transmutație atomică par astăzi fanteziste, iar extracția lui din ocean prin osmoză inversă — inacceptibilă din punctul de vedere al costului energetic.

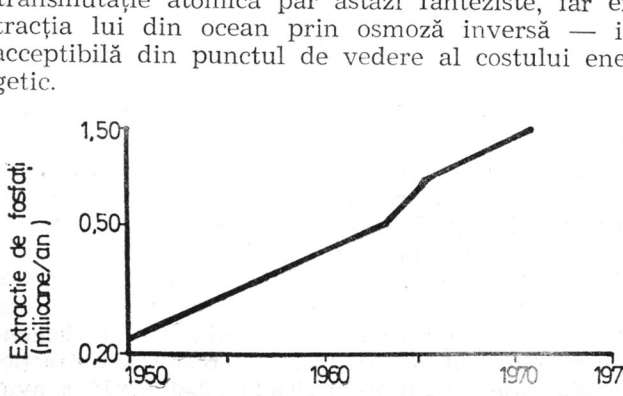
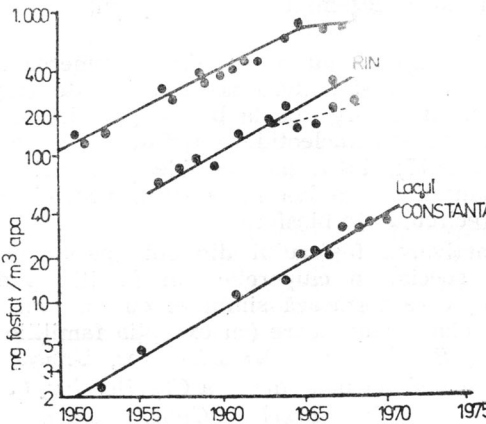


Fig. 26 Bilanțul P în perioada 1950—1975

Prima soluție este, ca și în cazul azotului, economisirea rezervelor existente, prin reciclarea fosforului din gunoaie și ape menajere (folosite ca îngrășământ), înlocuirea fosforului din detergenți (există soluții de înlocuire, dar ele se aplică pretutindeni foarte timid). În al doilea rînd se are în vedere utilizarea rezervei de fosfor din soluri, direcție în care se lucrează intens.



Fg. 27. Efectul sistemelor de recuperare a fosforului asupra concentrației acestui element în cîteva bazine acvatice

Fosforul anorganic este solubilizat în principal de către așa-numitele tiobacterii.

Circuitul natural al fosforului este asigurat de faptul că unele microorganisme folosesc cu precădere fosforul mineral, altele fosforul organic (Golebiovska, 1956). Printre acestea din urmă, unele

microorganisme utilizează preponderent fosfații organici *(Pseudomonadalele),* altele — ARN *(Bacillus megaterium),* altele — fosfații, ARN și ADN *(B. subtilis, B. cereus, B. mesentericus).*

Privat de Gailhe (1964) împarte enzimele ce metabolizează acizii nucleici în nucleaze (care desfac legăturile între nucleotide), nucleofosfataze (care eliberează fosfații din acizii nucleici), nucleozidaze (care desfac legăturile între bazele azotate și pentoze) și nucleodezaminaze (care amonifică bazele azotate).

Este cunoscută nu numai descompunerea acizilor nucleici, ci și sinteza acestora, „toate treptele metabolismului care duc la bazele purinice și pirimidinice la ribonucleotide au fost descoperite" (Crosby, 1977), infirmîndu-se ideea că acizii nucleici, sintetizați cîndva în trecutul geologic ar fi numai recirculați în biosferă.

În activarea fosforului din sol speranțele se pun în special în ciupercile din familia *Endogonaceelor,* care formează simbioze cu un mare număr de plante superioare (cu excepția familiilor *Pinaceelor, Betulaceelor, Fumariaceelor, Urticaceelor, Ericaceelor,* și cel mai adesea a *Cruciferelor, Chenopodiaceelor, Polygonaceelor, Cyperaceelor).* Aceste simbioze, numite micorize, sînt produse mai ales de ciupercile *Glomus, Gigaspora, Acaulospora* și *Sclerocystis* (Safir, 1980).

Micoriza exercită efecte dramatice asupra creșterii plantelor, efecte care pot varia de la stimulare puternică la depresie marcată. Micoriza acționează prin sporirea cantității de fosfor absorbit de către plante, așa cum au demonstrat Gray și Gerderman (1960) prin cercetări cu atomi marcați radio-

activ, dar influențează totodată absorbția zincului și sulfului (Bowen ș.a., 1975; Rodes, 1976). Acțiunea favorabilă se datorește creșterii suprafeței de absorbție a rădăcinii (Sanders ș.a., 1977) și solubilizării unor forme de fosfor neasimilabile de către plante (Azcon-Aquilar, ș.a., 1986). Totodată ciupercile de micoriză protejează plantele de atacul agenților patogeni și dăunătorilor rădăcinii.

Micoriza acționează favorabil numai pe solurile sărace în fosfor (Rothamsted Exp. Sta. Reptr., 1982), dar cu reacție neutră (fig. 28). Formarea micoriozei este stimulată de compușii anorganici cu sulf, dar este stînjenită de fertilizarea cu fosfor și de unele pesticide, cum ar fi fungicidele (Mesheim și Li Linn, 1969; Bailey și Safin, 1979) și nematocidele (Kleinschmidt și Gerdermann, 1972; Backmann și Clark, 1977).

Inocularea solului cu ciuperci de micoriză a sporit producția de porumb și grîu (Khan, 1972), soia (Roos și Harper, 1970; Schenck și Hinsism, 1973), pere (La Rue ș.a., 1975), citrice, trifoi (Școlnikova, ș.a., 1987). Ciupercile de micoriză îmbunătățesc performanțele în pepinierele pomicole (Kleinschmidt și Gerdermann, 1972) și fac posibilă recultivarea haldelor rezultate din minerit (Muronțev ș.a., 1988). Din păcate problema obținerii de biopreparate producătoare de micoriză este încă nerezolvată (Safir, 1980).

Alte microorganisme determină însă și formarea de compuși greu asimilabili cu fosfor — mioinozitol, spre exemplu (Anunziata și Gonzales, 1976).

Sulful este supus și el unor forme de reciclare, deși descompunerea sa este de circa trei ori mai lentă decît cea a azotului și carbonului (Swift, 1976),

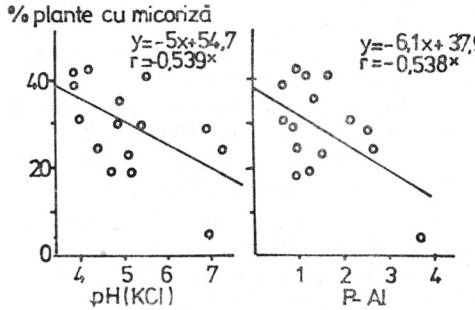


Fig. 28. Procentul de plante cu micoriză în relaţie cu pH şi conţinutul solului în P asimilabi]

ceea ce face ca după desţelenire să scadă raportul C : S şi N : S. Tiobacili care oxidează sulful, fixează în acelaşi timp azot: Dommergue (1972) a arătat că introducerea de sulf în sol determină îmbogăţirea plantelor în azot cu 56% şi chiar cu 120% dacă se inoculează solul simultan cu tiobacili.

Elementele metalice sînt de asemenea utilizate ciclic sub acţiunea microorganismelor, care descompun compuşii organici cu fier (Berthelin ş.a., 1976), reduc sau oxidează fierul, obţinînd în acest fel, în parte, energia necesară vieţii, restul nevoilor energetice fiind completate prin metabolizarea substanţelor organice. Acest fenomen de nutriţie mixtă poartă numele de litoheterotrofie.

Prin oxidarea fierului calitatea agronomică a solului se îmbunătăţeşte. Reducînd compuşii cu fier pentru a-şi satisface nevoia de oxigen, microorganismele degradează solurile, prin fenomene denumite gleizare şi podzolire.

Fenomenele de oxidoreducere microbiană a fierului sînt intens utilizate industrial. Numai prin folosirea lor este posibilă exploatarea minereurilor de fier sărace (așa cum sînt majoritatea zăcămintelor din țara noastră).

Manganul suferă în sol transformări foarte asemănătoare cu cele suferite de către fier.

Alte elemente metalice se găsesc în corpul organismelor și în sol în concentrații mici sau foarte mici (microelemente și ultramicroelemente). Ele joacă în organismele vegetale și animale un rol foarte important, intrînd în alcătuirea enzimelor (este suficient să amintim aici rolul cobaltului, aflat în organismul uman în cantități infime, dar a cărui lipsă provoacă o boală atît de gravă, ca anemia pernicioasă, sau al molibdenului, aflat în cantități la fel de mici dar fără care nu se fixează azot și nu are loc fenomenul de nitrificare).

Microorganismele asigură (prin procese de mineralizare, oxidare și reducere, de solubilizare și precipitare) circulația tuturor acestor elemente. De aceea, conținutul solului în formele solubile, asimilabile de către plante, ale acestor microelemente, se leagă de activitatea microflorei, de bogăția în humus.

Capacitatea microorganismelor de a solubiliza și precipita diferitele elemente este intens folosită de industria extractivă. Folosind acțiunea microorganismelor se poate extrage cupru din minereuri în care se găsește în proporție de 0,1% (în prezent în majoritatea țărilor se folosesc minereurile de 10—20 ori mai bogate, la noi de 4—5 ori mai bogate). Microorganismele permit astăzi exploatarea minereurilor sărace în uraniu, din Canada, iar în viitor,

poate, a minereurilor sărace în nichel din țara noastră. Unele microorganisme, de pildă, *Hyphomicrobium* secretă aminoacizi, producînd aur coloidal din dispersii fine ale acestui element în rocă (Nikitin ș.a., 1986), fenomen ce permite extragerea cu mare randament a acestui metal prețios.

II. OMUL ȘI „ETERNA REÎNTOARCERE"

Sînt născut pe pămînt
Nu-l modificați
R. Browning

1. „A doua criză energetică" și destinul omului

Natura știe mai bine
B. Commoner, fost consilier științific al președintelui Kennedy
Natura nu știe mai bine
P. Medawar, laureat al Premiului Nobel

Infimele organisme apărute acum 4 miliarde de ani au provocat, așadar, o revoluție în viața planetei Terra. Aceasta s-a acoperit cu un înveliș de viețuitoare cvasicontinuu — cu biosfera. Revoluționîndu-și mereu formele, sporindu-și posibilitățile de exploatare a lumii minerale, biosfera și-a mărit din ce în ce ponderea în viața planetei.

Acum 500 milioane de ani, în perioada carboniferului, planeta s-a acoperit de păduri nesfîrșite alcătuite din ferigi uriașe. Ceva mai tîrziu, în me-

zozoic, lumea animală a produs de asemenea giganții săi — dinosaurienii, șopîrlele uriașe. Paralel, un procent tot mai mare din bioxidul de azot atmosferic a trecut sub forme organice, atmosfera sărăcind în acest gaz de importanță foarte mare pentru viața Terei. După moartea acestor giganți ai lumii vegetale și animale, cărora li se adăugau algele și alte organisme din Oceanul Planetar (printre alge există și astăzi adevărați giganți, al căror corp depășește 100 m), substanța corpului lor, metabolizată de către microorganisme, dădea naștere acizilor humici, așa cum s-a arătat anterior.

Savantul japonez Ishiwatari a dorit să studieze soarta acizilor humici pe perioade lungi de timp. Nu i-a fost posibil, desigur, să reconstituie drumul acestora din carbonifer pînă în vremea noastră, dar a reușit să studieze transformările acizilor humici de pe fundul unor lacuri din Japonia în decurs de 700 mii de ani, stabilind că, în mod normal, materia organică din sedimente se transformă în acizi humici ai solului și aceștia trec lent în grafit. În atmosferă oxidantă, materia organică din sedimente produce diverse forme de cărbune, care evoluează și ele lent spre grafit, iar în condiții de piroliză — se produce petrol, care evoluează și el spre grafit. Prin urmare, în final, o parte însemnată din carbonul biosferic ajunge în zăcămintele de cărbuni de diferite tipuri (inclusiv de grafit), în cele de hidrocarburi (lichide și gazoase). În zăcămintele de țiței oxigenul este cu rapiditate consumat, microorganismele reduc compușii cu azot și sulf, instalîndu-se în final o anaerobioză severă, care, din fericire, a conservat hidrocarburile pînă în vremea noastră. Cărbunii, de asemenea, au reactivitate scăzută, reincluderea lor în circuitul carbonu-

lui făcîndu-se (în condiții naturale) într-un ritm destul de lent.

Biosfera sustrăgea așadar carbonul din atmosferă, transformîndu-l în compuși recalcitranți, greu reciclabili. Desigur că o atare situație nu putea să dureze, trebuia să survină un fenomen care să ducă la restabilirea echilibrului.

Dioxidul de carbon are, între alte funcții importante și pe aceea de a mări cantitatea de energie radiantă captată de către Pămînt din ceea ce împrăștie cu atîta generozitate soarele. Firește că atunci cînd cantitatea de dioxid de carbon a scăzut sub o anumită limită, a scăzut și cantitatea de energie solară reținută de către Terra, clima s-a răcit treptat, astfel încît planeta, altădată cu climat apropiat de cel tropical, s-a acoperit de gheață în regiunea polilor (Commoner, 1980).

Terra a cunoscut cîteva perioade în care ghețarii au ocupat cele mai mari întinderi din suprafața pămîntului. O dată cu răcirea climei, ponderea totală a biosferei a scăzut, tinzînd să restabilească echilibrul între intrările și ieșirile de dioxid de carbon din atmosferă. Au dispărut viețuitoarele uriașe de altădată (de fapt nimeni nu știe exact cum au dispărut marele reptile mezozoice, dar este evident că răcirea climei a favorizat mamiferele concurente). Răcirea climei, apariția uriașilor ghețari, care se întindeau pînă în Alpi și Carpați, au mărit suprafața albedo-ului pămîntesc (suprafața acoperită cu gheață și zăpadă care reflectă, asemenea unei oglinzi, lumina solară), menținînd dezechilibrul în favoarea răcirii climei. În aceste împrejurări echilibrul a fost restabilit de un personaj echivoc, care și-a făcut apariția acum 4 milioane de ani, pe podișurile înalte ale Etiopiei și ale Kenyei:

era strămoșul nostru, australopitecul, o maimuță de înălțimea cimpanzeului, pe care traiul la limita dintre pădure și savană a îndemnat-o să ia poziția verticală pentru a putea trece de la o pădure la alta, într-o vreme în care pădurile erau masiv înlocuite de savană (ipoteza Clark). Cercetările admirabile întreprinse de echipa antropologului Leaky au demonstrat indubitabil că acesta a fost primul pas spre hominizare, precedînd atît folosirea mîinii pentru confecționarea de unelte cît și dezvoltarea creierului (poziția bipedă exista deja acum 4 milioane de ani, creșterea greutății creierului are abia 2 milioane de ani).

Australopitecii s-au angajat astfel în cea mai spectaculoasă aventură a istoriei: folosirea inteligenței ca armă în lupta pentru existență. O dată cu aceasta succesul hominizilor era asigurat, căci ei pătrundeau într-un spațiu liber, în care nici o altă specie nu-i concura (ocupau, cum spun ecologii, o nișă ecologică liberă). Ulterior hominizii mai avansați pe această cale au blocat drumul oricărei alte specii care a încercat a se avînta din sfera biologicului, în sfera gîndirii (noosferă). Cei ce studiază antropologia sînt într-adevăr uimiți de mulțimea tentativelor de hominizare, toate soldate cu eșecuri, în afara celei reușite de strămoșii noștri direcți. Cauza este una singură: concurența hominizilor mai avansați.

Descoperirea focului și a armelor mai perfecționate a permis australopitecilor să treacă la vînătoarea în grup a animalelor mari, nutriția carnivoră fiind evident o regulă pentru vînători. Creșterea procentului de carne în alimentație a dus la sporirea concentrației de acid uric din sînge. Au apărut o serie de boli metabolice necunoscute an-

terior (guta, spre exemplu), dar totodată acidul uric prezent în sînge a constituit un excitant pentru celula nervoasă, o bază pentru creşterea volumului cerebral. Paralel, inteligenţa, cea mai necesară armă pentru vînătoare (folosind capcane şi scheme logice), a devenit principalul criteriu de selecţie.

Creşterea procentului de carne în alimentarea copiilor şi tinerilor a fost însoţită de creşterea taliei indivizilor; talia este reglată genetic, în linii mari, este adevărat, dar între anumite limite este condiţionată de secreţia de către hipofiză a hormonului somatotrop, secreţie stimulată de abundenţa cărnii în alimentaţie. Creşterea masei cerebrale şi a taliei a condiţionat evoluţia procesului de hominizare; anumite populaţii umane de talie mică — pigmeii din Africa Centrală, Malayzia şi Filipine sau japonezii — au avut în trecutul istoric perioade lungi de vegetarianism. În Japonia regimul de hrană vegetarian a avut la bază incapacitatea arhipelagului nipon de a asigura hrană — inclusiv animală —pentru întreaga populaţie. În secolul al X-lea regimul vegetarian a fost abolit de către un împărat tocmai pornind de la observaţia că el a generat talia redusă a populaţiei, dezavantajînd războinicii japonezi în lupta cu invadatorii. Tot creşterii procentului de proteine animale în hrană în Europa şi America de Nord i se datoreşte creşterea taliei populaţiei în perioada 1950—1975, mai ales a populaţiei urbane.

Creşterea greutăţii masei cerebrale şi a taliei caracterizează procesul de hominizare.

Omenirea datorează enorm australopitecilor, făuritori de unelte şi descoperitori ai focului. Este destul de neplăcut pentru orgoliul speciei noastre, dar descoperirile de la Chesowanja, pe malul lacu-

lui Baringo din Kenya demonstrează fără putință de tăgadă că focul era cunoscut acum un milion și jumătate de ani australopitecilor. Focul era produs — ca și acum 100 de ani — cu ajutorul cremenei izbite într-un anume fel.

Folosirea focului i-a permis australopitecului să depășească hotarele Africii, să ajungă în Asia și Europa (unde a fost găsit la Bugiulești, pe teritoriul țării noastre, *Australopithecus oltensis,* vechi de 2 milioane de ani), cu climat mult mai aspru dar în care erbivorele mari (mamutul îndeosebi) asigurau o hrană abundentă. Din punctul nostru de vedere este important faptul că omul primitiv a început să îmbogățească din nou atmosfera în dioxid de carbon. Incendierea pădurilor — la început accidentală apoi voluntară — (pentru alungarea vînatului și, mai tîrziu, pentru a face loc ogoarelor) a avut o pondere însemnată în creșterea procentului în dioxid de carbon din atmosferă, producînd totodată apariția unor mici cantități de monoxid de carbon (gaz inexistent înainte de inventarea focului).

Cercetări asupra aerului „captiv" din ghețurile antarctice au pus în evidență creșterea cu 20—40% a cantității dioxidului de carbon din perioada glaciară pînă în prezent. Iată datele avansate în această privință de către Lockwood (1982):

— la ultima glaciațiune: 200 ppm dioxid de carbon în atmosferă;

— 1958: 315 ppm;

— 1979: 335 ppm;

— 2025: 410—490 ppm.

Paralel cu creșterea conținutului dioxidului de carbon în atmosferă, clima a început să se reîncăl-

zească și există temerea că acest proces continuînd va duce la topirea gheţurilor polare, micşorarea albedo-ului planetar, creşterea nivelului oceanelor şi mărilor, inundarea unor cîmpuri, extinderea spre Nord a zonei aride din jurul tropicelor. Este însă mai probabil că vegetaţia va reuşi să preia excesul de dioxid de carbon, menţinînd astfel o climă asemănătoare **celei de azi.**

2. Agricultura sau sfîrşitul echilibrului natural

„Ştiinţa nu se poate împăca cu ideea că singurul mod de a şti că o ciupercă este sau nu otrăvitoare e să o mănînci".

N. Georgescu-Roegen-

Energia este, s-a arătat, o problemă vitală pentru fiecare organism: asigurarea energiei, găsirea hranei pentru fiecare individ şi progenitura sa reprezintă principala preocupare pentru toate speciile de animale. Omul primitiv, culegător de fructe, de seminţe, rădăcini, consumator al ouălor unor păsări şi al unor mici animale, avea nevoie pentru a-şi asigura hrana de spaţii măsurabile în kilometrii pătraţi. În momentul în care a devenit vînător, arealul necesar unui individ pentru a-şi asigura hrana s-a restrîns foarte mult şi, paralel, a crescut densitatea populaţiei umane.

Emigrarea în imensul continent euro-asiatic, marile turme de erbivore pe care le-a găsit aici i-au furnizat din abundenţă hrana, lăsîndu-i suficient timp liber inteligenţei sale creatoare. Numai astfel se explică excepţionala înflorire a culturilor primitive, descoperirile tehnologice utilizate încă în vre-

mea noastră, perfecționarea uneltelor din materii prime aflate din belșug: lemn, material cornos și oase de la animale, dar mai ales silex. Paralel, oamenii din epoca pietrei ne-au lăsat și dovezi ale unor incontestabile înclinații artistice: sculpturi de mare rafinament („Venus din Lespugue", „Gînditorul de la Hamangia")* sau capodoperele picturii rupestre, răspîndite din sudul Africii pînă în Urali și în țara noastră, între altele splendidele picturi din peștera de la Cuciulat, fără a omite faimoasele picturi de la Tassili N'Ajjer, Lascaux și de la Altamira („Capela Sixtină a epocii de piatră"). Pe bună dreptate amintirea acestei epoci s-a păstrat în memoria popoarelor ca „vîrsta de aur" din care ea a fost izgonită.

Acum aproximativ 15 mii de ani societatea umană a fost confruntată cu o primă criză tehnologică: înmulțirea populației și vînatul excesiv, ca și încălzirea climei au eliminat anumite specii de erbivore din faună, iar altele au devenit insuficiente pentru a hrăni o populație umană în plină expansiune. Criza alimentară s-a împletit cu o criză a materiilor prime. Arheologia ne furnizează evidente dovezi că omul neolitic, nemaigăsind silexul la suprafața solului a trecut la exploatarea din adîncime, prin săpare de puțuri și galerii, adevărate mine (așa cum facem noi astăzi, înlocuind zăcămintele de petrol din suprafață, epuizate, cu forje de profunzime).

Omenirea a trecut adesea prin crize demografice și tehnologice care, uneori, au provocat suferințe și jertfe, dar de fiecare dată a găsit drumul care să asigure o nouă înflorire a civilizației, resurse care s-o propulseze pe trepte superioare chiar celor mai

* Acesta din neolitic.

îndrăznețe visuri ale utopiștilor. Așa s-a întmplat și la sfîrșitul neoliticului, necesitățile stringente provocînd o profundă restructurare tehnologică și culturală cunoscută sub numele de „revoluția neolitică". Acum 11—12 mii de ani, aproape simultan, pe suprafețe foarte mari, agricultura (și apoi creșterea animalelor) a înlocuit vînatul ca principal furnizor de hrană. După unele date, încă acum 17 mii de ani la Assuan, în Egipt, era cultivat orezul și încă în condiții de irigații (Alina Idriceanu, 1981). Populația nomadă a devenit sedentară, au apărut chiar orașe — cele mai vechi (Toynbee, 1979) la Lepenski Vir, lîngă Porțile de Fier ale Dunării și la Jerihon, în Palestina. Străvechea tehnologie a pietrei a fost înlocuită cu ceramica și metalurgia.

Nu avem nici o îndoială că trecerea de la vînătoare, ocupație mai plăcută și prestigioasă, la agricultură, deosebit de chinuitoare la începuturile ei, s-a făcut sub imperiul necesității. Scheletele din epoca pietrei demonstrează că oamenii se hrăneau exclusiv aproape cu carne, iar cele datînd de acum 15 mii de ani sînt mărturii elocvente de subnutriție. S-au încercat paliative — de pildă la Stellmorg (lîngă Hamburg) s-au păstrat dovezi arheologice al conservării cărnii înghețată (din mezolitic), așa cum fac eschimoșii azi, dar evident, vînatul nu mai satisfăcea ca sursă de hrană pentru întreaga omenire.

Cele mai vechi dovezi certe de agricultură (de aproximativ 12 mii de ani) provin din Orientul Apropiat, întinzîndu-se aproape simultan din Iran pînă la Porțile de Fier dacă nu mai departe, căci avem dovezi (Eliade, 1981), că acum 11 mii de ani, populații din Thailanda cultivau mazăre, bob, rădăcinoase tropicale. Acum 9 mii de ani agricultura era practicată chiar în Noua Guinee, iar în insulele

Pacificului (Bismarck, Noua Britanie) acum 6 800 de ani.

Revoluționarea modului de trai — înlocuirea hranei animale (proteice) cu semințe (bogate în glucide polimerizate), sedentarismul, aglomerațiile umane din sate și orașe — a determinat apariția de noi boli metabolice de care (în parte) n-a scăpat nici omul modern. Printre acestea sînt: obezitatea, diabetul, maladiile cardio-vasculare (de pildă obezitatea este evidentă la faimoasa statuie denumită „Primarul satului" și care provine din Egiptul faraonic).

Aglomerarea în sate și orașe a favorizat „înflorirea" bolilor epidemice. Nu știm prea bine cum arătau orașele neolitice, dar știm foarte bine că aglomerația din marele orașe antice (Cartagina, Tyr, Sidon) și medievale (Constantinopol, Paris), depășea cu mult pe cea a orașelor de azi (dacă nu luăm în considerație Hong-Kong-ul). În același timp, cu rare excepții, preocupările de igienă erau inexistente. De aceea Toynbee (1979) remarcă faptul că mortalitatea în orașe, datorită infecțiilor, o depășea pe cea din afara zidurilor, datorită războiului și tîlhăriei.

Agricultura este o ocupație tipic sezonieră și are ca indispensabil complement păstrarea recoltei. Depozitarea de substanțe organice este însă contrarie legilor naturii, care tind spre utilizarea lor ciclică și cît mai rapidă. O dată cu depozitele au apărut și dăunătorii acestora, între care șobolanii care au transmis omului cumplita ciumă.

Concomitent cu creșterea animalelor, aglomerările de indivizi din specii care au agenți patogeni comuni cu omul i-au adus acestuia noi boli, de la febra tifoidă pînă la turbare (primul animal domestic a fost cîinele, urmat de pisică, și de oaie).

Omul a învățat să topească metale, pe care le-a transformat în unelte și arme. Primul dintre acestea a fost cuprul, apoi aurul. „Metalurgiștii" primitivi aveau pierderi tehnologice pe care știința modernă le înregistrează studiind conținutul în metale grele al gheței depuse în Groenlanda în diferite perioade. Pe această cale s-a putut stabili exact cînd omul a început, spre exemplu, să prelucreze plumbul, poluîndu-se pe sine și planeta cu acest element.

Agricultura este numai aparent o îndeletnicire integrată naturii (ea are de-a face numai cu organisme vii). În realitate, reprezintă cea mai formidabilă sfidare pe care omul și creația sa — cultura — au azvîrlit-o naturii acum 12 milenii. Nu întîmplător în toate limbile aceste două noțiuni — cultură și cultura plantelor sînt omonime, căci întreaga cultură postneolitică a avut ca bază materială creșterea plantelor și animalelor. Omul, încă acum 2—3 sute de ani, avea conștiința că lumea culturii se întinde tot atît de departe cît ogoarele, că fiecare palmă de țărînă cucerită reprezintă un triumf asupra naturii.

Ogorul — numit astăzi într-un limbaj nu prea corect și agroecosistem* — este contrariul a ceea ce natura însăși a creat. Dacă examinăm o pajiște — mai puțin supusă intervenției omului — o pădure, opoziția cu un lan de grîu sau porumb este evidentă. În primul caz avem de-a face cu o populație extrem de pestriță, alcătuită din numeroase specii din cele mai diverse: plante — de la arborii cei mai înalți la arbuști, tufe, ierburi, animale diverse, iepuri, care se ascund în boschete, cîrtițe și hîrciogi în pămînt, o sumedenie de insecte și alte nevertebrate.

* Este un sistem dar nu un ecosistem: nu se autointreține, nu se autoreglează, nu se autoreproduce.

Fiecare plantă și animal adăpostește numeroși paraziți, iar pămîntul constituie mediul de existență pentru o mică populație încă și mai diversificată. Țelul acestei complicate arhitecturi este evident: captarea a cît mai mult din energia razelor solare, circulația cît mai rapidă a energiei convertită de plante în materie organică. Se obține astfel cea mai mare biomasă posibilă de pe o suprafață dată.

Spre deosebire de pădure sau pajiște, ogorul este extrem de monoton. El adăpostește preponderent o singură specie de plante — cea cultivată. Idealul agricultorului este să aibă lanuri curate, lipsite de buruieni — adică de orice altă specie vegetală decît cea pe care a semănat-o (floarea soarelui într-o cultură de porumb sau grîul într-o cultură de fasole sînt și ele considerate buruieni și combătute). El luptă să înlăture de acolo și insectele și mamiferele. Biomasa pe care o obține în aceste condiții este inferioară celei obținute de terenul necultivat, dar pe agricultor acest lucru nu-l interesează. Pentru el biomasa totală este cu totul neimportantă, în atenția sa este biomasa speciei cultivate, cu alte cuvinte recolta. Recolta este însă cu atît mai mare cu cît biomasa celorlalte specii — concurente (buruienile) sau dăunătoare (animalele) — este mai redusă. De aici războiul pe care agricultorul îl poartă de milenii cu acestea.

Tendința omului de a-și spori densitatea pe Terra corespunde unei legi comune tuturor speciilor. Este evident că specia noastră fiind (ca orice specie animală) consumatoare, creșterea ponderii ei nu se poate face decît prin restrîngerea sau eliminarea altor consumatori pe care îi concurează. Sub acest raport, comportarea speciei umane este absolut na-

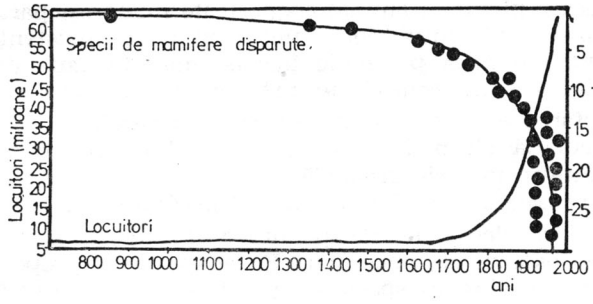


Fig. 29. Corelația populație umană — specii dispărute

turală. Atunci cînd vînătorul primitiv a început a folosi la vînătoare arcul cu săgeți precum și diverse scheme logice (capcane), el depășise deja sfera biologicului, intrînd în sfera socialului și a gîndirii, în care lipsa de concurenți i-a asigurat un succes nemaiîntîlnit (un principiu biologic spune că orice specie care pătrunde într-un teritoriu lipsit de concurent are asigurat succesul). Din figura 29 reiese dar că sporirea ponderii speciei umane a fost permanent însoțită de eliminarea altor specii din biosferă.

Se poate totuși admite că vînătorul paleolitic, deși a încălcat echilibrul natural nu a ajuns să-l elimine. Cu totul alta era situația agricultorului și păstorului care ocrotesc și multiplică alte specii de plante și animale și le distrug pe cele ce nu-i interesează. Un asemenea fenomen, la proporții planetare, n-a mai fost înregistrat de biosferă (este adevărat că, spre exemplu, furnicile cresc și ocrotesc alte specii de insecte ce le sînt utile, dar

acesta este un fenomen foarte restrîns, fără importanță în ansamblul biosferei). Ruperea „constituției" biosferei, a echilibrului natural a constituit un act de agresiune al omului împotriva naturii, care n-a putut rămîne fără ripostă din partea acesteia, ripostă materializată printr-o presiune continuă a biosferei asupra părții mereu mai mare, pe care omul și-a tăiat-o din natură, împins de nevoile inexorabile de hrană și materii prime. Ogorul nu poate fi menținut liber de buruieni fără eforturi — materializate la început prin lucruri mecanice efectuate manual (prășit, plivit), munci extrem de grele și monotone, contrarii tendinței speciei noastre, care caută să însoțească fiecare efort cu satisfacția de a crea ceva nou. Efortul uman a fost parțial înlocuit de cel al animalelor de muncă și de transport — ceea ce a cerut extinderea ogoarelor, pentru a dobîndi furaje pentru cai sau boi. Numai în vremea noastră extinderea metodei chimice de combatere a buruienilor (metodă folosită rudimentar încă din antichitate) a putut însă elibera omul de această muncă penibilă.

Plantele crescute cu grijă de agricultorul primitiv erau apoi atacate de ciuperci și de insecte. Recolta ce se obținea era în continuare vămuită de rozătoarele de cîmp și cele din depozite și abia ceea ce rămînea putea constitui hrana pentru o omenire mereu mai numeroasă. Împotriva acestor dușmani, omul a fost pînă de curînd neputincios (pînă la inventarea pesticidelor).

În figura 30 se prezintă (după Puia și Soran, 1978) evoluția nutriției umane de la vînătorii primitivi la agricultorul modern de azi.

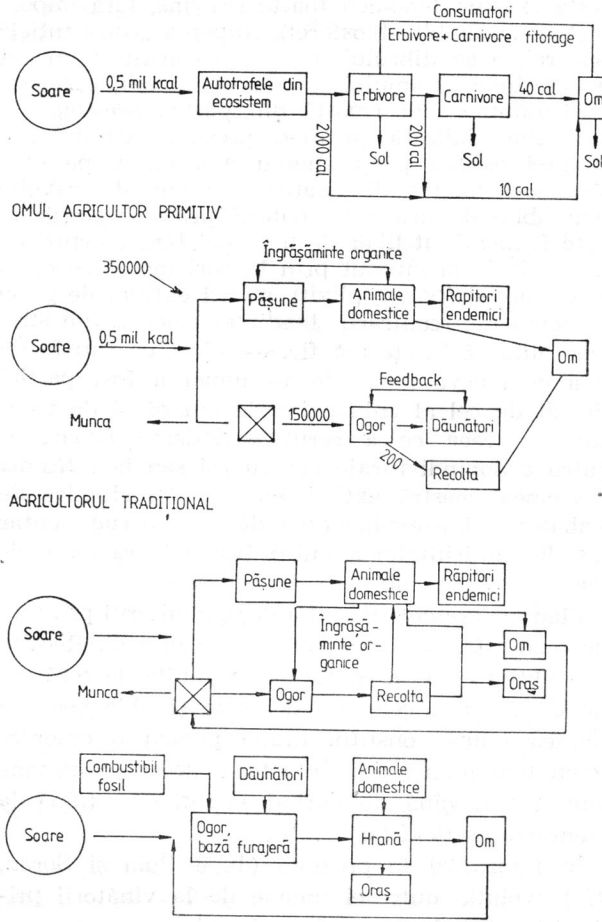


Fig. 30. Utilizarea energiei de către om în 3 sisteme diferite de nutriţie

3. Era tehnologică — un circuit care se închide

„După ce descoperim că viața nu are nici un înțeles, nu ne rămîne decît să încercăm să-i dăm un înțeles".

Lucian Blaga

Omul primitiv a izbutit prin urmare să reîmbogățească atmosfera în dioxid de carbon, permițînd ieșirea din era glaciațiunilor. Totuși, pînă acum cîteva sute de ani, carbonul din depozitele de combustibil (cărbuni, petrol, gaze naturale) rămînea în continuare pierdut pentru biosferă, nefolosit de nici una din numeroasele speci de viețuitoare aflate pe Terra. Omul avea totuși nevoie de cărbuni, căci topea și prelucra metale, dar în loc să folosească zestrea solului se chinuia să obțină cărbune din lemn tăind copaci și arzîndu-i apoi în cuptoare speciale. Această tehnologie greoaie l-a împiedicat să intre cu două milenii mai devreme în era mașinismului: se știe că, în vremea împăratului Vespasian, Heron din Alexandria a inventat mașina cu aburi, dar ea n-a fost practic folosită. De obicei se pretinde că mașina nu s-a bucurat de atenția necesară pentru că era concurată de munca sclavilor deosebit de ieftină. Se adaugă și amănuntul anecdotic că împăratul Vespasian s-ar fi speriat că ea ar putea lipsi mulți oameni de pîine. Asemenea reacții s-au înregistrat într-adevăr atunci cînd Papin a reinventat, în secolul al XVII-lea, motorul cu aburi, ba chiar în zilele noastre se aud critici de acest fel la adresa automatizării. Se ignoră cu totul că, încă în vremea lui Traian (la abia trei decenii după Vespasian), Imperiul Roman a intrat într-o criză complexă, în multe privințe asemănătoare cu cea de azi: o criză

în primul rînd demografică, marcată prin reducerea drastică a natalității (datorită răspîndirii concepției hedoniste de viață, devalorizării tradiționale a filozofiei sănătoase, caracteristice romanilor), reducere atît în rîndul sclavilor (ceea ce a împuținat forța de muncă existentă), cît și a cetățenilor liberi, rărind rîndurile legiunilor romane și reducînd capacitatea ofensivă a Imperiului, apoi și pe cea defensivă. Împărații au încercat să remedieze această criză demografică acordînd cetățenia romană în cercuri din ce în ce mai largi, strămutînd cu forța sau pe cale pașnică „barbarii" în interiorul frontierelor, angajînd armate întregi de mercenari, ceea ce pînă la urmă a sfîrșit prost.

„Crizei energetice" provocate de rărirea sclavilor — născuți pe pămîntul roman, aduși prin războaie (sclavii erau principala forță de muncă în Imperiul Roman) — i s-au adăugat, ca și azi, criza monetară, provocată de hemoragia aurului risipit de patricieni pe obiecte de lux importate din Orient, hemoragie stăvilită o vreme prin exploatarea minelor de aur din Dacia, dar devenită și mai acută după epuizarea acestora (în raport cu posibilitățile tehnologice ale romanilor), anarhia și (nu în ultimul rînd) proliferarea superstițiilor orientale, aparent greu de explicat într-o lume rațională, sceptică chiar, în cazul romanilor, profund cultivată.

Este evident că pentru lumea romană folosirea mașinii cu abur ar fi constituit o șansă nesperată. Ea n-a fost însă folosită pentru că nu putea fi folosită, pentru că a o alimenta cu combustibil (lemne sau cărbune de lemn) cerea mai multă muncă umană decît putea mașina să înlocuiască. În secolul

al XVII-lea, cînd se cunoștea puterea energetică a cărbunelui, cînd acesta putea fi extras din abundență, situația era cu totul alta. Abia acum lumea a intrat în faza sa industrială, a început să ceară tot mai mult cărbune pentru a fi ars în cuptoarele fabricilor, vapoarelor, locomotivelor. In secolul al XIX-lea omul a descoperit noi valențe ale acestor prețioase resurse noi, trecînd la sintetizarea unor substanțe organice pornind de la cărbune (coloranții de anilină) și elaborînd astfel carbochimia. În numele acestei științei noi, genialul Mendeleev va protesta față de folosirea cărbunilor în energetică: „a arde cărbunii este un fel de a arde banii" va spune el; zadarnic însă: nevoile de energie erau tot mai mari.

Natura a descoperit astfel un organism viu capabil, în fine, să recicleze (după milioane de ani) carbonul combustibililor fosili.

Curînd utilizării cărbunelui i se va adăuga cea a petrolului și cea a gazelor naturale. Pe această cale România se va angaja prima: în țara noastră resursele de cărbune cunoscute erau limitate și de calitate inferioară, pe cînd petrolul era relativ abundent, ușor de extras și de o calitate fără egal. Pînă acum 150 de ani însă, exploatarea petrolului se făcea rudimentar, iar utilizarea lui era cu totul limitată. La mijlocul secolului trecut (1856) însă un om îndrăzneț și întreprinzător, Simion Mehedințeanu, a trecut la exploatarea lui în cantități mari. El i-a descoperit și o posibilitate de utilizare la iluminatul străzilor, Bucureștiul fiind primul oraș din lume iluminat astfel. În Militari se va construi prima distilerie de petrol din lume cu scopul de a furniza petrol lampant orașelor și satelor româ-

nești. Deși imediat au intrat în competiție și americanii cu imensele lor rezerve, care au trecut România pe locul II în lume, apoi Rusia (astfel că la sfîrșitul secolului trecut România era pe locul trei), Iranul și Venezuela (România mai era, totuși, în 1938 al cincilea furnizor mondial de petrol), românii n-au încetat nici un minut să reprezinte un factor important în lumea petrolului. Procedeul modern de rafinare a petrolului se numește peste tot în lume „procedeul Edeleanu", industria de utilaj petrolier din țara noastră are un bine meritat renume etc.

În jurul anilor 1900 era o dogmă că sinteze organice se pot face numai pornind de la cărbune, dogmă datorată aportului în acest domeniu al specialiștilor englezi, germani, belgieni, francezi, toți proveniți din țări lipsite de petrol, dar bogate în cărbune. Pentru românul C. I. Istrati, problema se punea cu totul altfel: pentru a avea viitor, în țara sa iubită, industria sintezelor organice trebuia neapărat să pornească de la petrol. El a demonstrat astfel, primul din lume, că acest lucru este posibil, inventînd astfel petrochimia, ramură industrială care va depăși curînd cu mult carbochimia, fiind mult mai economică. S-a ajuns chiar ca, după 1972, cînd petrolul s-a scumpit foarte mult, să se afirme că fără petrol nu se pot face sinteze organice, iar India să uimească lumea în 1975 cînd s-a gîndit să-și folosească resursele de cărbune pentru a produce îngrășămintele cu azot de care avea nevoie și pentru care nu-și putea permite să importe petrol.

Astăzi reciclarea carbonului fosil din petrol este în mare parte fapt împlinit (rezervele vor ajunge totuși pînă în aproximativ 2 040) și, după petrol,

au intrat, în circuitul valorificării rezervelor, gazele naturale.

În valorificarea rațională a gazelor naturale românii au de asemenea importante priorități (îmbutelierea și vînzarea lor cu amănuntul sub denumirea de „Aragaz", producerea de negru de fum din gaz metan, utilizarea gazelor în industria de îngrășăminte).

Exploatarea petrolului ieftin a fost temelia subredă și nedreaptă pe baza căreia s-a construit edificiul strălucitor al dezvoltării industriale. „Ce altceva este societatea de consum, spunea Bălăceanu, consilier al președintelui Franței pentru combustibili, dacă nu petrol la discreție?".

Mințile cele mai lucide atrăgeau însă atenția că petrolul nu este inepuizabil, că el trebuie rezervat doar sectoarelor în care este de neînlocuit. Pe atunci erau însă la modă lozincile „vom avea atîta petrol cît va fi nevoie" și „petrolul este produsul ce rezultă din întîlnirea dolarilor cu rocile sedimentare".

Azi însă, pretutindeni, cărbunele și, parțial, gazele naturale constituie speranța energeticienilor pe termen mediu. Noi tehnologii de utilizare, gazeifiecare, sînt în curs de elaborare — ceea ce va mări valoarea lignitului inferior din Oltenia, ușor de gazeificat și, în final, vor duce la oxidarea în ritm accelerat a carbonului pe care acesta îl conține.

La începutul secolului nostru lordul Kelvin emitea ipoteza că arderea tuturor combustibililor fosili va avea drept urmare consumul întregii cantități de oxigen liber din atmosferă, primejduind prin aceasta însăși existența vieții pe Pămînt. Calculele făcute de ilustrul fizician erau, desigur, corecte. El omitea însă o serie de reacții biotice și abiotice care tind a se opune acestui efect. Printre acestea cea mai puternică este reacția plantelor la creș-

terea concentrației de dioxid de carbon din atmosferă: intensificarea fotosintezei, adică sporirea producției de biomasă (cu blocarea parțială a carbonului în compuși organici) și eliberarea de oxigen.

Pe de altă parte, între Oceanul terestru și atmosferă există un permanent schimb de dioxid de carbon, pe măsură ce crește concentrația acestuia în atmosferă crescînd și cantitatea dizolvată în apă.

Fără îndoială că în ultimul secol cantitatea de oxizi de carbon din atmosferă a crescut continuu, dar într-un ritm mult mai lent decît anticipa lord Kelvin.

Așadar cel puțin penuria de oxigen nu constituie o primejdie previzibilă pentru omenire. Creșterea concurenței de dioxid de carbon atmosferic va provoca însă încălzirea climei, topirea ghețurilor polare și extinderea Oceanului Planetar: porturi ca Londra, New York, Leningrad sau Veneția vor cere probabil măsuri speciale de ocrotire. Suprafețele aride se vor întinde spre nord, putînd provoca mari perturbații în rezervele de alimente ale unor state și deplasarea spre nord a zonelor cerealiere, în absența unor măsuri speciale.

4. Poluarea sau pedeapsa pentru neglijarea „eternei reîntoarceri"

Legea de bază a naturii este, cum s-a arătat, utilizarea ciclică a tot ceea ce există, același atom al unui element servind succesiv numeroase specii de viețuitoare, numeroase generații ale aceleiași specii.

Din momentul în care a devenit agricultor și mai ales crescător de animale, omul a început să concentreze pe spații mici viețuitoare din aceeași specie. În asemenea situații are loc însă acumularea de deșeuri ale acestor viețuitoare. Este însă o lege generală (Ghinea, 1978) că deșeurile viețuitoarelor sînt toxice pentru ele înseși, produc un fenomen de „poluare biologică". Totodată aglomerările de viețuitoare din aceeași specie (sau de specii asemănătoare) creează condiții ideale pentru dezvoltarea paraziților, care în cele din urmă limitează astfel de aglomerări.

S-a arătat că deșeurile organismelor superioare sînt reciclate prin acțiunea microorganismelor descompunătoare. Cînd însă acestea sînt în cantitate prea mare pe o suprafață restrînsă (cazul marilor turme de animale), descompunătorii nu pot acționa suficient de rapid, echilibrul se rupe și acumularea de deșeuri toxice crește continuu. În acest fel agricultorul și păstorul primitiv au înfrînt echilibrul natural, fără a mai vorbi de războiul de exterminare purtat împotriva marilor carnivore care „dijmuiau" turmele. Datorită acestui război a dispărut leul din Iran pînă în peninsula Balcanică, lupii și vulpile în Marea Britanie etc.

Amintirea acestor prime victorii ale omului s-a păstrat în miturile grecești legate de Hercule (uciderea leului din Nemea, curățirea grajdurilor lui Augias). Acest din urmă mit este cît se poate de ilustrativ pentru subiectul ce ne interesează astfel încît merită a fi povestit pe scurt: regele Augias, mare crescător de cai, ajunsese la disperare datorită gunoiului acumulat în grajdurile sale. În cele din urmă a făgăduit a zecea parte din animale

pentru cel care va reuși să le cureţe. Azi am spune: a afectat a zecea parte din producţia depoluării. Hercule a făcut cam ceea ce se face şi azi în astfel de cazuri: a abătut peste grajduri apele unui rîu (şi tot cum se procedează prea adesea şi azi), nu şi-a pus problema ce se va întîmpla cu apa, încărcată cu atîta murdărie. Că încă în vremurile preistorice, oamenii erau preocupaţi de poluarea cu gunoi nu ştim numai din mituri, ci şi din dovezi arheologice) în depozitele de gunoaie din neolitic din Anglia s-au găsit urme de incinerare, ceea ce atestă vechimea acestui procedeu de depoluare). Oamenii civilizaţiei Mohendjo-Daro din India, acum 3 500— 4 500 de ani, aveau băi în casă, ghene de gunoi cu scurgere în vase de argilă, gropi de sedimentare a apelor uzate. Erau (vai!) mai civilizaţi decît mulţi dintre contemporanii noştri, după cum atestă coşurile de gunoi de pe străzi.

La Teba exista un efor special pentru gunoaie, funcţie foarte stimată, de vreme ce ea a fost ocupată de celebrul general Epaminondas, învingătorul spartanilor în bătălia de la Mantineea.

Dezvoltarea civilizaţiei a însemnat totodată introducerea în circuitul utilizării sociale a tot mai multor materii prime, în primul rînd a metalelor. Tehnologiile primitive au însemnat însă împrăştierea în aer, apă şi sol a unor mari cantităţi de materiale (s-a arătat deja că topirea plumbului şi cositorului a dus la impurificarea întregii planete, evidenţiată prin depozitele din gheţarul groenlandez).

Mai rău încă stăteau lucrurile în vremurile mai noi. Shelley spunea, de pildă, despre Anglia secolului trecut: „iadul se aseamănă foarte mult cu Londra: este tot aşa de suprapopulat, plin de fum şi de murdărie".

Omul a ignorat însă legea utilizării ciclice a tuturor resurselor, tendința fiind de folosire lineară: materii prime → obiecte → deșeuri. Sfidarea legii consumului ciclic a dus treptat la consumarea resurselor și acumularea deșeurilor, la acel adevărat „Janus bifrons" ce amenință societatea contemporană: poluare — penurie.

Pînă în vremea noastră însă acest „rău cu două fețe", deși și-a arătat colții de multă vreme, n-a constituit obiectul unor preocupări sistematice. Cel mult omul a fost silit să ia măsuri de recuperare a unor materiale, datorită costului foarte ridicat al materiilor prime și costului derizoriu al muncii umane. Strămoșii noștri, pînă în secolul trecut, colectau tot ceea ce se putea recupera: fier vechi și alte metale, hîrtie, sticlă, haine vechi. Numeroși oamenii își cîștigau existența din colectarea și valorificarea deșeurilor.

Eliminarea gunoaielor a fost de timpuriu însoțită de utilizarea lor în agricultură, pentru a preveni secătuirea ogoarelor. Știm, de pildă, că în Jerusalimul antic, gunoaiele erau fermentate pentru a servi ca îngrășămînt.

Homer în *Odiseea* povestește că Ulysse, reîntors acasă, a fost recunoscut de cîinele său Argo, care dormea pe o grămadă de gunoi cu care „sclavii erau obișnuiți să fertilizeze pămîntul". Virgiliu în *Giorgice*, Cato, Pliniu cel Bătrîn, Terențiu, Columella, vorbesc toți de tradițiile romane în fertilizarea cu gunoi. Polybiu vorbește de vastele păduri de stejar în care romanii își hrăneau turmele de porci (ca și Lică Sămădău din nuvela lui Slavici, la sfîrșitul secolului al XIX-lea), iar gunoiul acestora era principalul îngrășămînt al ogoarelor. Pro-

babil că ilustrul istoric exagerează atunci cînd afirmă că porcii erau crescuți mai mult pentru gunoi decît pentru carne, căci desigur și aceasta avea ponderea sa în alimentație, poate chiar grăsimea, deși era concurată de uleiul de măsline.

Peste practicile antichității în Europa s-a așternut uitarea. Leonardo da Vinci va face figură de precursor, atunci cînd va propune fertilizarea cu gunoi. Pallisy este primul care aduce problema pe tărîm practic.

Pe de altă parte, deoarece orașele medievale se înecau în gunoaie, orașele olandeze au început să oblige țăranii care veneau la tîrg să care cu căruțele gunoiul, obicei extins și în Germania. În acest context, țăranii din zona Kiel, observînd efectul favorabil al gunoiului asupra recoltei, au început chiar să plătească pentru dreptul de a căra gunoiul.

În vremea noastră dezvoltarea accelerată și la scară planetară a mărit enorm nevoia de materii prime, a sporit la dimensiuni greu de imaginat acumulările de deșeuri poluante, a mărit pretențiile omului față de calitatea mediului.

Poate nici un alt exemplu nu este mai elocvent decît situația apei în lume. În țările avansate, consumul de apă pe cap de locuitor a crescut enorm în vremea noastră, datorită extinderii irigațiilor, consumului casnic și celui industrial: de la 10—15 l, cît era în evul mediu el a ajuns la 6 500 l în S.U.A. și 1 200 l în Franța. Să observăm totuși că rămîne sub cel înregistrat de Roma antică și că numeroși sociologi consideră că gradul de civilizație este intim legat cu acest indice, ceea ce aruncă o vie lumină asupra rafinamentului strămoșilor noștri. În același timp, 2 miliarde de oameni (aproape

jumătate din populația globului) nu au acces la o sursă de apă potabilă și, ca urmare, 80% din bolile existente pe glob sînt transmise de apele insalubre: 400 milioane de oameni suferă de gastroenterită, 200 milioane de bilharzioză, 160 milioane — de malarie.

Mediterana — leagănul civilizației — este grav atinsă de poluare. Cum ar putea fi altfel cînd 20% din totalul apelor de canalizare din zonă se scurg în bazinul ei fără a fi purificate, cînd direct în mare își varsă deșeurile toxice numeroase industrii (la loc de frunte situîndu-se „nămolul roșu" produs de societatea chimică Montecatini-Edison), adăugîndu-se unor substanțe toxice naturale (numai vulcanul Etna, aruncă în Mediterana 70 kg mercur). Această situație face ca în zonă mediteraneeană, hepatita, dizenteria, febra tifoidă și poliomielita să fie endemice, numeroase plaje și zone recreative să fie deteriorate, să scadă cantitatea de pește și alte resurse marine (în plus contaminate), să se acumuleze mercurul și alte metale grele în apa mării.

Periodic agențiile de presă aduc vești despre poluarea cu petrol a mărilor, despre „mareele negre" cărora le cad victimă peștii și păsările oceanului. Ministerul olandez de resort a comunicat că numai în Olanda acestor evenimente le-au căzut victimă 200 de mii de păsări.

Printre poluanții industriali cu deosebită îngrijorare sînt priviți cei radioactivi, acumulați în ultimile decenii din explozia unor arme atomice sau ca urmare a defectării unor centrale atomoelectrice.

Conform datelor furnizate de Euratom (van Dorp ș.a., 1977), pot apare, în calitate de contaminanți radioactivi: tritiu, metale alcaline (Cs), alcalino-pămîntoase — Sr, actinide, metale grele, halogeni, alte metaloide și gaze inerte.

Printre acestea din urmă ^{85}Kr nu poate fi reținut de instalațiile antipoluante ale centralelor atomoelectrice și se acumulează în atmosferă (7 milioane Cu/an), în special între 30—50° latitudine nordică, unde sînt concentrate majoritatea uzinelor.

Pericolul principal îl reprezintă iodul radioactiv (care se fixează în tiroidă putînd genera tumori), urmat de cesiu și stronțiu radioactivi.

Ca urmare a funcționării centralelor atomoelectrice, numai în S.U.A., Japonia și Europa Occidentală se acumulează mari cantități de deșeuri radioactive nereciclate (în 1982 cantitatea lor era de 3,8 mii tone în S.U.A., de 2 mii tone în Europa Occidentală și de 700 t în Japonia, cifre ce se vor reduce în S.U.A., la 3,5 mii tone, dar vor crește la 3,4 mii tone în Europa de Vest și la 1,2 mii tone în Japonia).

Alături de industrie, agricultura a devenit, se știe, o importantă sursă de poluare. Nevoile sporite de hrană, într-o lume cu populația în creștere galopantă (datorită reducerii drastice a mortalității, în legătură cu succesele medicinii în tratarea bolilor epidemice) au impus soluția chimizării agriculturii. Fertilizarea organică, de slab randament, consumatoare de forță de muncă umană și dezagreabilă, a fost înlocuită cu fertilizarea chimică. Progresele chimiei au permis combaterea chimică a insectelor dăunătoare, bolilor și buruienilor, ceea ce în ansamblu a sporit cu 30% producția de alimente.

Trebuie să observăm însă că, dacă fertilizarea minerală este superioară celei organice (cu gunoi), ea a dus în practică la separarea agriculturii de zootehnie, la mari concentrații de animale ale căror deșeuri n-au mai fost reciclate (s-a pierdut practica generalizată în agricultură în decursul celor trei milenii anterioare), la transportul de furaje pe distanțe uneori apreciabile. Costul energetic al acestor furaje s-a adăugat consumului de petrol, gaze sau cărbune pentru producția de îngrășăminte minerale.

Cercetările au demonstrat totodată că, dacă fertilizarea minerală este superioară ca randament celei organice, fertilizarea mixtă cu gunoi, la care se adaugă azotul necesar culturii pînă la mineralizarea îngrășămîntului organic și fosforul necesar pentru reechilibrarea nutriției vegetale, depășește fertilizarea minerală, ca efect asupra producției și conservării solului (Hera și Ghinea, 1982).

Folosirea exclusivă a combaterii chimice a dăunătorilor, a unor pesticide cu mare recalcitranță moleculară, a dus la o poluare de mari proporții a planetei cu produse de acest tip, dintre care unele dotate cu puternică activitate biologică. După 1965 însă, ca urmare a unei largi campanii de informare, a apărut în opinia publică ceea ce s-ar putea numi „conștiință ecologică".

Se observă chiar o suprasensibilizare, o alergie irațională în unele cercuri ale opiniei publice, față de folosirea pașnică a energiei atomice și de chimizarea agriculturii.

Folosirea energiei atomice în energetică se poate face astăzi cu un grad înalt de fiabilitate, este mai lipsită de riscuri decît folosirea cărbunelui de pildă. În același timp trebuie spus că toate neajunsu-

rile semnalate se leagă nu de chimizarea agriculturii în sine, ci de chimizarea incorectă (Oelhauf, 1978; Ghinea, 1978), chimizarea în sine fiind o sursă de hrană și sănătate pentru populația globului.

„Se denunță noxele civilizației mecanice, uitîndu-se cele ale civilizației anterioare. Pe vremea cînd porcii rîmau pe ulițele întortocheate, gunoaiele aruncate pe ferestrele locuințelor orașelor evului mediu erau și ele în felul lor poluante" (Sedillot, 1979).

Omul a început de milenii agresiunea împotriva leagănului ce l-a văzut născîndu-se și care i-a ocrotit copilăria: pădurea. Cu securea, cu cremenea, și amnarul, cu aliații săi de nădejde, turme de oi și capre, i-a restrîns mereu suprafața extinzînd în același timp zonele deșertice. Poporul român este puternic legat afectiv de pădure, scut de nădejde în vremea popoarelor migratoare, cînd singura soluție a fost ceea ce Blaga denumea „retragerea din istorie", aliat invincibil în vremea războaielor turcești: otomanii au denumit codrul Vlăsiei, unde erau mereu atacați de oștile române prin surprindere — „pădurea nebună" (Deli Orman, Teleormanul de azi). Totuși această legătură afectivă („codru-i frate cu românul") nu împiedică agresiuni nefondate față de pădure, agresiuni ușurate și de unele insuficiențe ale legislației. Giurgiu (1981) semnala unele imperfecțiuni de acest fel: („pădurea vie — în ansamblul ei — este înscrisă în evidență fără valoare, în timp ce un simplu par din gardul unei gospodării dobîndește valoare de inventar... Un metru cub de lemn pe picior nu costă mai mult decît un pachet de țigări").

În rezumat putem spune că ignorarea, intenționată sau din necunoaștere, a legii utilizării ciclice a resurselor a dus la impasul actual poluare-penurie.

Echilibrul natural a fost înlocuit acum 15 mii de ani de un nou echilibru în natură, care include omul în calitatea sa de agricultor, crescător de animale, de producător de unelte. În vremea noastră, industrializarea generalizată, folosirea energiei atomice, chimizarea agriculturii, agravează presiunea omului asupra mediului, accelerînd procesele negative arătate, eliminînd noi specii din floră și faună, afectînd negativ sănătatea omului, amenințînd chiar creații ale culturii umane: templele de la Angkor, monumentele Egiptului antic și Romei, frescele de la Voroneț sau tablourile din muzeul Prado au suferit în ultimile decenii mai mult decît în veacurile trecute. Soluții există (așa cum vom arăta în finalul prezentei expuneri), dar ele n-au fost totdeauna consecvent aplicate.

Un impact considerabil asupra relațiilor om-natură l-a avut criza energetică din ultimul deceniu. Pe de o parte, ea a impus renunțarea la anumite tehnologii mari consumatoare de energie, impunînd soluții de recuperare a resurselor secundare (numite altădată „deșeuri"), de încadrare în circuitele naturii (în ceea ce am numit „eterna reîntoarcere"), pe de altă parte, au împiedicat anumite măsuri de protecție a mediului, prea costisitoare din punct de vedere energetic.

Scumpirea energiei, apropiata perspectivă a epuizării petrolului, impun noi soluții energetice. Ca totdeauna, natura furnizează modelul de urmat.

5. Energetica la școala naturii

O sarcină stabilită de necesitatea istorică va fi realizată fie cu ajutorul omului, fie împotriva lui.

O. Spengler

În deceniul al optulea al secolului nostru, viziunea euforică asupra viitorului, ce caracterizase precedenții douăzeci de ani, a fost brusc înlocuită cu imagini sumbre. Faptul că preziceri datînd de mult timp (și neluate în seamă), cu privire la epuizarea petrolului, începeau să se adeverească, a dus la „profeții" similare în legătură cu metalele feroase și neferoase, cu cele nobile și radioactive. Prezicerile făcute erau corecte în limita respectării condițiilor de studiu alese, adică: recuperarea în măsură neînsemnată a deșeurilor, pierderi relativ ridicate în procesul de producție, considerarea rezervelor aflate în sol și la o adîncime rezonabilă etc. În realitate însă este previzibilă perfecționarea tehnologiilor cu reducerea pierderilor în timpul producției, reciclarea deșeurilor, valorificarea rezervelor din apa oceanică și din adîncimea scoarței (pînă în prezent s-a explorat abia 1/16 din adîncimea scoarței terestre), producerea de înlocuitori sintetici din elemente ce se găsesc din abundență pe pămînt (siliciul, considerat multă vreme ca „steril", „deșeu", este tot mai intens folosit — în electronică, în obținerea de materiale ceramice care înlocuiesc cu succes aliajele dure și termorezistente, pînă și la fabricarea motoarelor de automobil și a navetei spațiale). Toate acestea sînt posibile cu condiția unor noi eforturi de inteligență pentru perfecționarea tehnologiilor, precum și în condițiile

soluționării crizei energetice. De aceea concluzia ultimului raport al Clubului de la Roma este clară: nu există nici un fel de criză a materiilor prime, există „doar" problema energiei. Pentru rezolvarea acesteia s-au propus nenumărate soluții și paliative.

Prima soluție a fost, evident, folosirea economică a ceea ce avem, înlăturarea risipei din sectorul energetic, care a caracterizat perioada postbelică. Începînd chiar cu începutul, adică de la extracția țițeiului (recuperarea țițeiului din pămînt). „Regele automobil" a fost supus unui examen sever, reproiectat pentru a consuma cît mai puțin combustibil, recurgîndu-se și la ajutorul microprocesoarelor.

Încălzirea locuințelor, mare consumatoare de energie în zona temperată, a fost de asemenea examinată, pentru a se obține același confort, aceeași căldură cu mai puțin combustibil. În Germania de Vest au fost înlocuite ușile și ferestrele cu altele, perfect etanșe, fațadele au fost fotografiate cu infraroșu, detectîndu-se și eliminîndu-se pierderile de căldură, s-au montat termoregulatoare la fiecare încăpere, reglînd debitul apei în calorifer în funcție de temperatura voită, recurgîndu-se chiar la microprocesoare. Combustibilul necesar s-a redus la jumătate, iar confortul a crescut chiar.

În industrie s-a trecut la recuperarea energiei pierdute, furnizîndu-se apă caldă pentru încălzirea locuințelor (așa-zisa „termoficare"), direcție în care România s-a angajat cu mult înaintea altor țări.

În orașul Courim din Cehoslovacia se recuperează în prezent energia turboagregatelor compresoarelor care altădată se pierdea inutil. În Germania de Vest, se recuperează energia pierdută prin frînarea ve-

hiculelor, economisînd combustibilul, reducînd zgomotul și uzura frînelor.

Căldura degajată de agregatul de răcire al frigiderului casnic poate fi și ea recuperată, folosind-o la încălzirea apei menajere.

În traficul aerian s-a propus reîntoarcerea la aparatele cu elice, care consumă cu 15—20% mai puțin combustibil și ar putea realiza viteze de pînă la 800 km/oră.

Deși cantitatea de energie folosită pentru iluminat este neînsemnată, s-au găsit soluții de îmbunătățire și în acest sector. S-au creat recent becuri care consumă abia 20% din curentul consumat în mod obișnuit și dau aceeași iluminare, avînd și o durată de funcționare de 4 ori mai mare; lampadarele de pe străzi au fost programate (prin microprocesoare) în funcție de lumina naturală; prin intermediul fibrelor optice lumina naturală a fost dirijată spre încăperi subterane (săli de metrou, spre exemplu), altădată iluminate artificial.

O altă cale adoptată este reciclarea amestecurilor de țiței cu apă, care în prezent constituie o sursă majoră de poluare în rafinării, porturi etc. Există soluții de ardere directă (U.R.S.S.) sau de redistilare (Singapore).

O sursă importantă de petrol o constituie șisturile bituminoase și nisipurile asfaltice: ele ar putea produce (potrivit experților OECD) 100 milioane tone carburant pînă în 1991. Există în prezent termocentrale pe bază de șisturi bituminoase în Estonia (țară ce are condiții deosebit de favorabile pentru aceasta). Din șisturi bituminoase se produc totodată: fenol, sulf, uleiuri minerale.

Principala speranță pentru înlocuirea petrolului pe termen scurt o reprezintă însă cărbunele, prea devreme abandonat. Pentru exploatarea sa e-

ficientă se au în vedere perfecționări în tehnologia de extracție (excavatoare gigant, aflate în construcție în Germania de Est, dar mai ales instalații robotizate și automatizate, haveze ghilate cu radiații gama construite la mina din Selby din Anglia) și transport (pe bază de conducte, în Canada deja perfecționate).

Cele mai multe preocupări vizează transformarea cărbunelui în combustibil lichid (tip petrol) sau solid. Japonia are în vedere utilizarea în viitorii ani a unei suspensii de praf de cărbune... în petrol. Se are însă în vedere mai ales transformarea, în subteran, a cărbunelui în gaze combustibile, care apoi sînt extrase asemenea celor naturale. O uzină de acest tip se construiește în California la Borston.

Încă în cursul celui de al doilea război mondial Germania a fabricat benzină sintetică obținută din cărbune, procedeul era însă foarte neeconomic. Între timp, tehnologiile s-au ameliorat, ajungînd foarte aproape de limita economicității. O instalație experimentală funcționează la Pont of Air (Țara Galilor) și o a doua se află în construcție la Sydney (Australia).

Cărbunele va substitui curînd petrolul în energetică, iar petrochimia va fi din nou înlocuită de carbochimie, preluînd ideile lansate acum un secol de către părinții sintezelor organice. Din cărbune se pot obține fie hidrocarburi sintetice, fie olefine (materia primă de bază a petrochimiei). Un procedeu mai nou are în vedere obținerea de metanol din cărbune, transformarea acestuia în olefine și benzină sintetică. Vor fi reciclate reziduurile de cocserie, din care se pot extrage antrecan, naftaiină,

acenaften și acenaftilen, materii prime pentru coloranți, înălbitori optici, medicamente și pesticide. O uzină producătoare de petrol se află în construcție în Noua Zeelandă și ea va satisface o treime din necesarul acestei țări.

Petrol, gaze, cărbune — toate acestea reprezintă însă „zestrea" pe care omul a primit-o din partea naturii, o „posibilitate de lansare" a societății umane în era tehnologică, fără siguranța dezvoltării nelimitate. Scadența în 40 de ani în cazul petrolului, în 200 de ani în cazul cărbunelui, va veni însă cu epuizarea acestor zăcăminte, așa cum s-a produs la începuturile vieții, o dată cu relativa consumare a „supei organice primitive". Acum, ca și atunci, soluția durabilă, pe termen lung, poate fi numai găsirea unor surse energetice inepuizabile. Acestea pot fi numai soarele și atomul.

Centralele atomoelectrice, care aduc o valoroasă contribuție la energetica actuală, fiind și o sursă de izotopi cu diverse întrebuințări, nu reprezintă o soluție: ele consumă uraniu, așa cum termocentralele consumă combustibili fosili, iar uraniul se află în „zestrea planetei" în cantități foarte limitate (chiar dacă se au în vedere tehnologiile japoneze de extracție din ocean). Atomul va putea oferi o soluție atunci cînd vor deveni eficiente instalațiile de producere a energiei termonucleare, direcție în care există cercetări avansate în S.U.A., U.R.S.S., Japonia, Marea Britanie, precum și în țara noastră. Credem mai degrabă în realismul afirmației marelui atomist von Weizsäcker: „resursele totale de energie sînt nelimitate pentru orice creștere imaginabilă".

În Franța funcționează o centrală folosind energia valurilor și o a doua se află în construcție în

R. P. Chineză. În vestul României, în Ungaria, Noua Zeelandă ca și în Cehoslovacia se folosesc în energetică apele termale. În Islanda, energia geotermală reprezintă 70% din necesarul țării. Există proiecte de valorificare chiar și a energiei calorice acumulate în scoarța terestră.

În secolele trecute energia eoliană a jucat un mare rol, morile de vînt furnizînd energie pentru industrii, pentru desecarea mlaștinilor în Olanda, pentru transportul maritim și chiar pentru cel terestru. Astăzi ea revine în actualitate, fie că este vorba de generatoare eoliene de curent electric de mici dimensiuni — cel proiectat de „Electrotimiș" — sau de centrale gigant cum sînt cele de la Maglarup (Suedia) sau de lîngă San Francisco (950 MW). S-a propus utilizarea energiei eoliene în transportul feroviar, reconsiderarea navelor cu pînze. Japonezii au lansat deja „Shin Aitoku Maru", un petrolier cu pînze de 1 500 t, dar se au în vedere și vase de 30—40 mii tone.

Din toate sursele naturale de energie cea solară pare cea mai avantajoasă. Se utilizează deja — sînt fabricate și în țara noastră — panouri ce folosesc energia solară la încălzitul apei și se elaborează continuu soluții de ameliorare a lor (formă sferică sau parabolică, metalizare cu aluminiu, servomotor de orientare în direcția soarelui etc.).

Un sistem mai nou este producerea de electricitate prin efect fotoelectric, folosind celule din siliciu, eventual și un ecran cu pigment ce absoarbe lumina roșie sau cu elemente stratificate (un colorant între două folii foarte subțiri, transparente, din aluminiu), ordinatoare pentru dirijarea sistemului de oglinzi. Încă din 1981 la Adrano (Italia)

a fost conectată la sistemul energetic național prima uzină fotoelectrică din lume.

Cercetătorii americani au elaborat celule perfecționate la care elementul activ, de captare a energiei solare, îl constituie cloroplaste din frunze (de fapt niște componente ale acestora, tilacoizii), plasate însă pe membrana unui microfilm, fenomenele de transport de electroni fiind asigurate de soluții sintetice, sau o enzimă (hidrogenază) extrasă din cianobacterii *(Anabaena)*. Deoarece cloroplastele se uzează repede, cercetătorii francezi le-au înlocuit cu un amestec din 2 substanțe sintetice (rutenattrisbipiridil și rodonattrisbipiridil).

O altă posibilitate o constituie utilizarea așanumitei „energii a biomasei", adică a energiei acumulată în diferite substanțe ce constituie masa organismelor vii. În prezent masa florei ce crește pe Terra este de 2 625 miliarde tone, cea mai mare parte în zona ecuatorială (70 mii tone/km^2). Activitatea fotosintetică a plantelor, în curs de numai 4 zile, echivalează cu întreaga cantitate de combustibili fosili ai globului. Este evident că aceasta ar permite în parte utilizarea biomasei pentru satisfacerea nevoilor energetice.

Savantul american Melvin Calvin, laureat al Premiului Nobel pentru cercetările sale în domeniul fotosintezei, a propus cultivarea euforbiaceelor pentru a extrage latexul lor, bogat în hidrocarburi asemănătoare petrolului. Ulterior, din latex ar urma a se extrage, cu un solvent, hidrocarburile și cu un alt solvent — zaharurile fermentabile. Reziduul ar putea fi folosit ca un combustibil inferior, servind la recuperarea solvenților prin distilare. La 1 000 tone biomasă s-au obținut 80 t hidrocarburi, 260 t zaharuri fermentabile și (după folosirea în distilare)

ar mai rămîne 200 t combustibil inferior, toate însemnînd 9 000 unități britanice termice: „puteți fabrica benzină dacă doriți, dar nu oamenii vor produce substanțe chimice, care sînt materii prime cu mult mai scumpe", conchidea Calvin. Numai Coasta de Vest a Australiei, azi neexploatată, ar putea produce 2,5 miliarde barili de petrol anual.

Îmbunătățirea instalațiilor de ardere va putea duce la folosirea cu randament a deșeurilor vegetale: scoarță, vreascuri, rumeguș, masă verde (o altă soluție ar fi măcinarea și granularea acestora).

În contrast cu reclama stațiilor furnizoare de combustibil, care, lăudînd benzina Shell, scria: „Puneți un tigru în rezervorul dumneavoastră", specialiștii francezi au lansat lozinca „Puneți un nap în rezervorul dumneavoastră". Este emblema celor ce vor să substituie benzinei alcoolul — etilic sau metilic — produs din vegetale („gazhoolul"). Alcoolul s-ar produce din trestie de zahăr (în țări tropicale cum e Brazilia) sau din napi (în zona temperată). Mai avantajoasă ar fi obținerea alcoolului din produsele agricole secundare: paie, pănușe de porumb, pleavă (pe această cale s-ar putea suplini 20% din consumul Japoniei), din tescovină, din coaja citricelor (citrolină în loc de benzină).

Folosirea biomasei se leagă totuși de complicații importante, ea presupunînd colectarea unor mari cantități de reziduuri, răspîndite pe suprafețe considerabile. Un cercetător vest-german a calculat că folosirea biomasei ar acoperi integral nevoia de energie a Germaniei de Vest, cu condiția de a folosi o cantitate dublă de energie pentru colectarea și transportul deșeurilor! Se mai adaugă costul energetic al distilării alcoolului (etilic sau metilic).

Puia și Soran (1982) au demonstrat evident că biomasa produsă în zonele temperate (mai sărace în resurse vegetale și dens populate) ajunge numai pentru alimente și furaje, nu și pentru obținerea de energie (situația este diferită în zonele ecuatoriale și polare).

Foarte rațională apare și colectarea deșeurilor organice și fermentarea (compostarea) lor în triplu scop: de a obține energie, îngrășământ de excelentă calitate și de a depolua mediul natural. Aceasta este soluția folosită atît de țările industrializate, ca de pildă Elveția, în scopul conservării mediului, cît și de cele în curs de dezvoltare, pentru care „nota petrolieră" atîrnă greu în balanța de plăți. În scopul sporirii randamentelor s-au făcut cercetări care au dus la selecționarea unor bacterii (urmașe ale primelor viețuitoare de pe planeta noastră) ce produc mai mult metan din deșeuri (Japonia), s-au creat instalații speciale pentru obținerea și colectarea gazelor combustibile (biogazului) sintetizate de aceste microorganisme (Jugoslavia).

Producerea biogazului elimină vechile tehnologii „risipitoare", care aveau în vedere arderea gunoaielor (soluție poluantă și neeconomică), mineralizarea, nitrificarea și apoi denitrificarea azotului din substanțele organice, soluție care cerea și o sursă de energie suplimentară. Astăzi se socotește că deșeurile a doi boi, trei vaci, 12 porci sau 330 de găini înseamnă de fapt un litru de petrol și un îngrășământ superior („arderea gunoaielor este un fel de a risipi humusul", Grüll, 1972).

Compostarea poate folosi ca materie primă deșeurile zootehnice, orășenești, nămolurile de la stațiile de epurare și chiar reziduuri din petrochimie (cu condiția epurării lor împreună cu deșeurile ur-

Tabelul 5

Tehnici de producerea hidrocarburilor din biomasă (după Gruls, 1979)

Procesul	Produşi	Starea cunoştinţelor în prezent
Termic-Combustie	dioxid de carbon, apă cenuşă, căldură, abur, electricitate	Bine cunoscut
Piroliză, gazeificare	petrol, gaze (monoxid de carbon, metan, hidrogen)	Puţin cunoscută
Biologic Gazeificare cu sinteză catalitică	metan, hidrocarburi	În curs de extindere
Fermentare cu drojdii	etanol, dioxid de carbon	Cunoscută
Digestie anaerobă	metan, dioxid de carbon	Cunoscută

bane). ICPGA a calculat că din cele 3 milioane tone de gunoi produse anual de cîteva oraşe mai mari din România se pot recupera 10 mii tone metal, 50 mii tone mase plastice şi cauciuc, 100 mii tone textile, 50 mii tone sticlă, se pot produce 300 mii tone furaje şi 500 mii tone compost.

Rezumînd toate soluţiile energetice propuse, în figura 31 se prezintă o schemă deosebit de utilă pentru opţiunile alternative ce le oferă. În tabelul 5 se rezumă (după Gruls, 1979) tehnicile de producerea hidrocarburilor din biomasă.

Mediul natural între conservare şi optimizare

Amploarea fenomenelor poluante, perspectiva epuizării rapide a unor resurse naturale înaintea găsirii unor tehnologii alternative, a impus pretu-

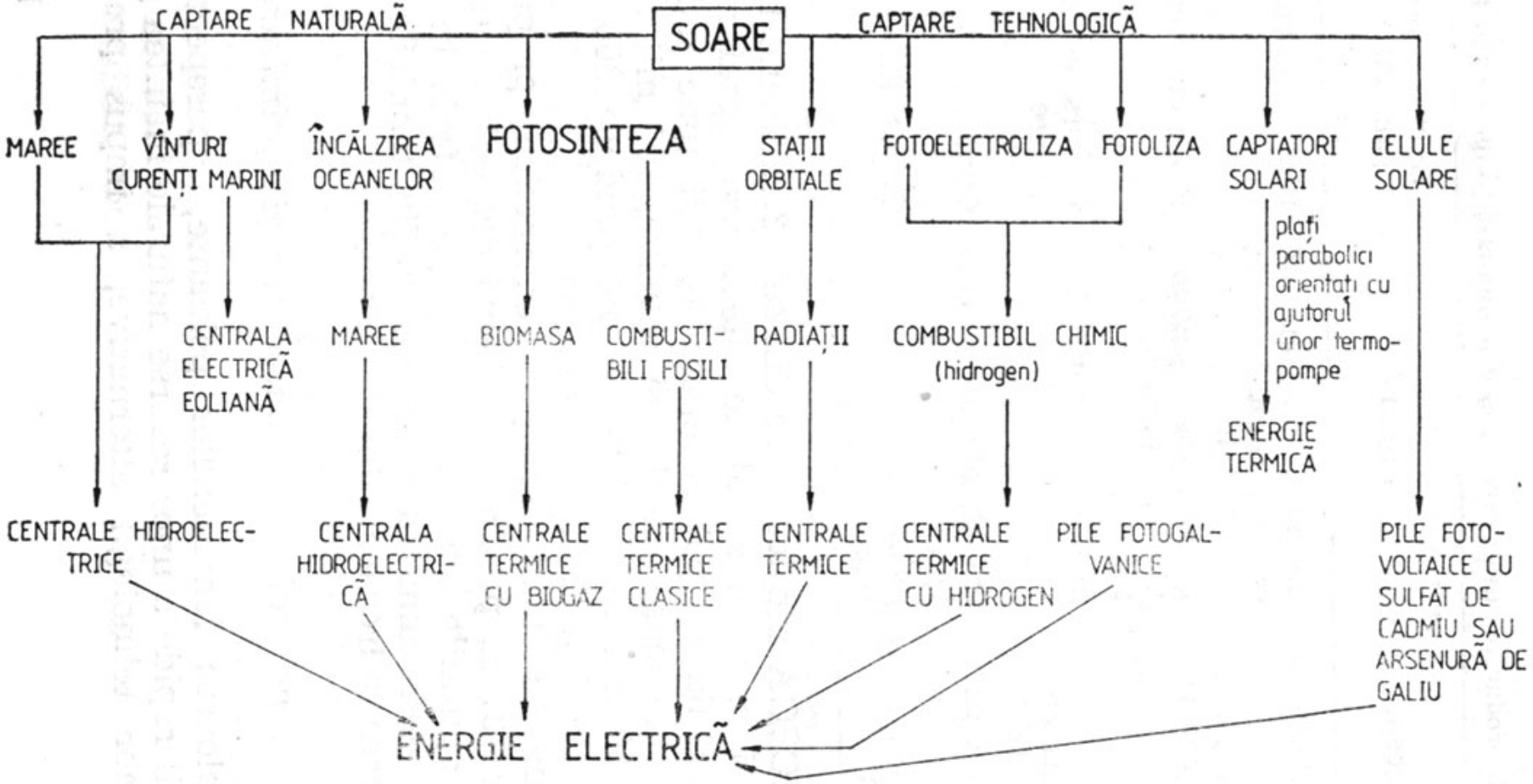


Fig. 31. Valorificarea energiei reînnoibile în diferite sisteme

tindeni folosirea unor soluții tehnologice mai adecvate noii situații.

Au fost găsite soluții noi — în curs de extindere — pentru combaterea ruginirii metalelor feroase (acoperirea cu un strat de rășini poliuretanice și sticlă sau cu reziduuri petroliere vîscoase), de „întinerire" a aliajelor feroase solicitate. Sînt în curs de înlocuire tehnologiile de extracție și prelucrare a metalelor cu grad ridicat de poluare (folosind cianuri) cu altele mai „blînde" sau tehnologiile consumatoare de materiale deficitare (spre exemplu, se tinde la înlocuirea argintului din materialele fotografice).

Pe cursurile de apă expuse poluării se montează instalații automate de control și avertizare. Petrolul de pe mare este colectat în bureți speciali și retrimis în rafinării. Aerul viciat se filtrează prin instalații speciale (unele de mari dimensiuni) folosind materiale adsorbante (cărbune activ, argile sau pămînt). Mare eficiență în depoluarea aerului prezintă perdelele forestiere constituite din arbori bine aleși.

Sînt introduse noi materiale în circuitul economic, fie resurse secundare rezultate din procedee industriale (de pildă, cenușile de termocentrale), fie cele aflate din abundență (tuful vulcanic) în locul altora deficitare sau care se produc cu consum mare de energie (ciment). Produsele industriale se reproiectează, mai suple economic și estetice.

Din reziduuri se pot obține metale rare: aur din cărămizile refractare. Din catalizatorii uzați se obțin vanadiu, molibden, nichel, cobalt. Colectarea becurilor arse poate ajuta la reducerea consumului de molibden, a bacteriilor uzate —, la separarea mercurului, reducînd nivelul acestui metal toxic din mediul nostru de viață. Zgura ce se acumulează în halde uriașe, inestetice și primejdioase, în preajma

întreprinderilor din Zlatna, a devenit furnizoare de 350—400 t cupru/an. Baritina, care sub forma a 100—900 t praf intoxica lent pădurile din zona Tarnița aduce azi economiei naționale 820 t sulfat de bariu anual. În Cehoslovacia, din fier vechi se fabrică anual 25 mii tone oțel. Din reziduurile radioactive specialiștii japonezi recuperează tritiul. Se reciclează mase plastice, cauciuc. Din reziduurile organice se produc „buștenii sintetici" la preț de cost competitiv. Garniturile de mobilă de bucătărie, cochete și funcționale, produse din resturile lemnoase aglomerate au devenit de mult familiare în locuințele noastre, conservînd întinse zone din falnicii codrii de brazi din Carpați.

Familiară este „reciclarea" sticlelor, care economisește cantități însemnate de energie, dar din păcate au devenit familiare și neajunsurile acestei metode: apariția de ulei în apa minerală și bere, de apă în ulei, ba chiar de substanțe toxice în toate aceste produse alimentare, semnalate în cîteva cazuri. Toate acestea nu s-ar petrece dacă cei ce ambalează produsele nu s-ar baza prea mult pe corectitudinea cu care spală sticlele cei ce le revînd (toate fabricile posedă benzi de spălare, prevăzute cu celule fotoelectrice care triază automat sticlele și le sparg pe cele ce nu pot fi spălate); pentru a realiza o iluzorie „economie" în multe locuri celulele sînt scurtcircuitate și înlocuite cu controlul la camera clară. (Retribuția celor ce fac un control, mai puțin eficient, depășește însă cu mult „economia".) Grija pentru mediul ambiant și tendința spre economie ar impune însă și revalorificarea cioburilor de sticlă (folosibile la sticlele de ambalaje, în producerea de cărămidă de sticlă, ca adaus la asfalturi etc.). Aceasta cere însă fabrici

concepute special pentru astfel de materie primă și nu retopirea sticlei în fabricile obișnuite, caz în care se ajunge la situația ca simpla retopire și remodelare să coste mai scump decît obținerea pastei din sticlă din nisip, topirea și modelarea sticlei noi.

Preocuparea pentru valorificarea resurselor secundare a pus combinatul chimic Făgăraș în situația de a nu mai avea reziduuri poluante (cu excepția inofensivului dioxid de carbon). Prin valorificarea acidului sulfuric rezidual se produc azi 15 mii tone îngrășăminte fosfatice, din reziduuri se fabrică alcool furfurilic în valoare de 18 milioane lei/an. La combinatul de celuloză și hîrtie Zărnești din reziduuri se fabrică drojdii furajere, aditivi și plastifianți pentru cimenturi hidrotehnice, din coaja de copac — trei mii tone composturi pe an.

Din 100 mii tone cauciuc uzat se pot obține peste 40 compuși de valoare (300 tone izopren, 500 tone pentene, 400 tone benzen, 1 800 tone toulen, 1 300 tone etilbenzen, 2 700 tone xilen, 2 900 tone stiren), și 35—45 mii tone combustibil. Un procedeu elaborat de specialiștii noștri permite recuperarea manganului din haldele vechi de extracție acumulate de zeci de ani la Iacobeni și Vatra Dornei.

În Germania de Est, din resurse recuperate se obțin 75% din producția de oțel, 44% din hîrtie, 10% din textile, se regenerează o treime din uleiurile industriale și se reciclează 95% din ambalajele de sticlă.

S.U.A., reputată ca țară a opulenței, recicla totuși, în 1974, 70% din fier, 60% din cupru, 45% din aluminiu, 40% din plumb, 12% din zinc, 20% din hîrtie, 17% din textile.

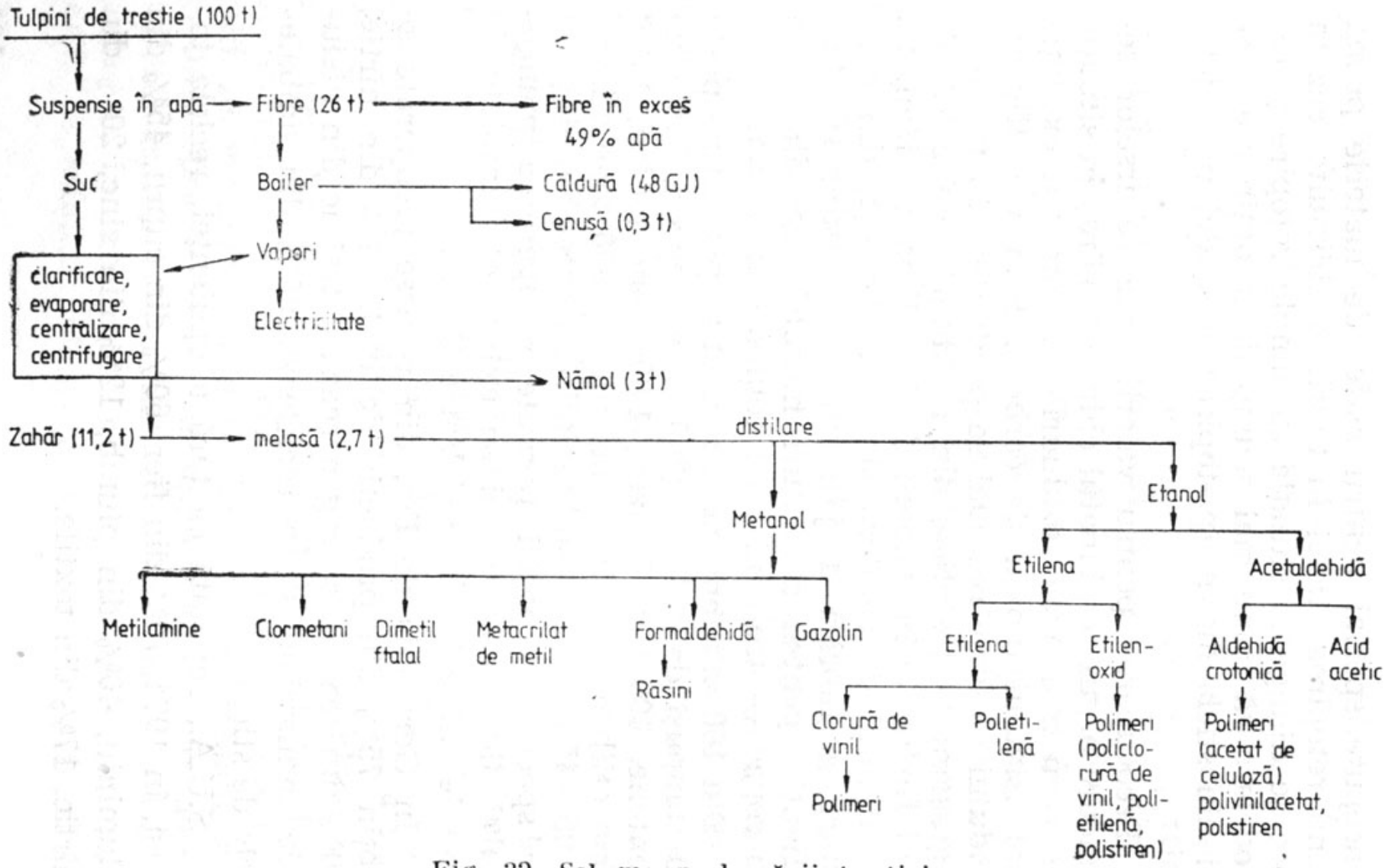


Fig. 32. Schema prelucrării trestiei

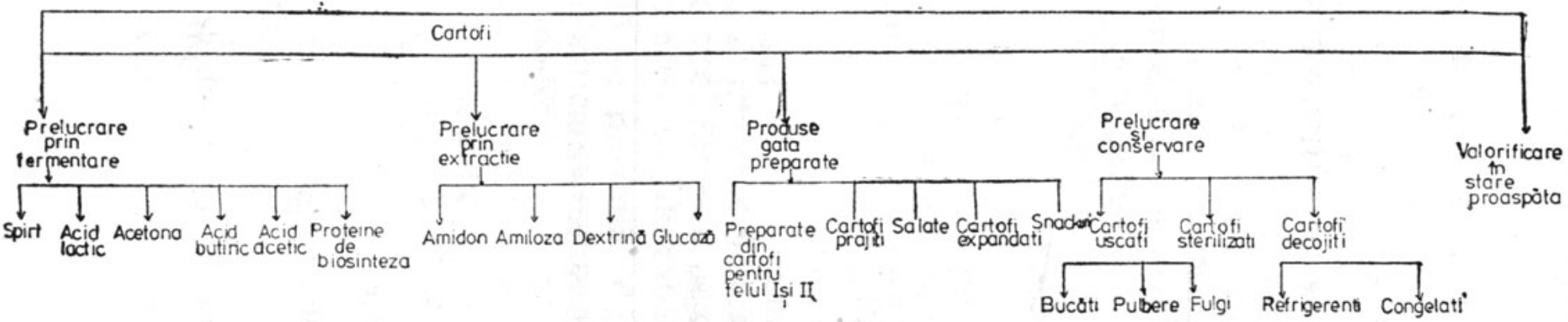
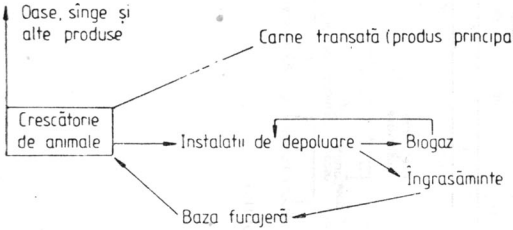
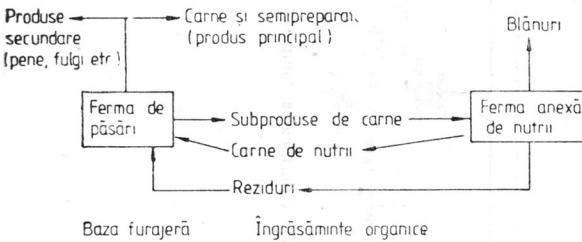


Fig. 33. Valorificarea complexă a cartofului

A. Crescătorie de animale mari



B. Crescătorie de găini



C. Crescătorie de gîște sau rațe

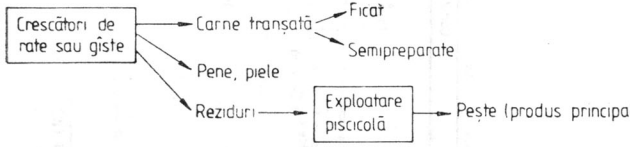


Fig. 34. Creșterea animalelor în sistemele de recirculare integrală

În Germania de Vest se reciclează 46% din cositor, 40% cupru, 45% din plumb, 40% din fier, 30% din aluminiu, 25% din zinc, 45% din hîrtie. Toate acestea nu s-au obținut de la sine: pe străzi au fost instalate coșuri speciale pentru fiecare tip de reziduu, evitîndu-se astfel munca de vîrf a sortării. Cetățenii au fost educați printr-o muncă atentă să înțeleagă că respectarea acestor reguli este în interesul tuturor. În ultimă instanță, recalcitranților li s-au aplicat amenzi usturătoare, pînă la 1 000 mărci (circa 10 mii lei).

Produsele agricole sînt de asemenea supuse unor tehnologii avansate de „valorificare totală". Din 145 mii tone porumb, spre exemplu, se pot obține 50 mii tone zahăr fluid, 194 hectolitri alcool fin, 9 mii tone embrioni de porumb, furaje. Din porumb se pot obține 1 110 produse, între care antibiotice (penicilină, streptomicină, neomicină), băuturi alcoolice (bere, lichior, whisky — renumitul Burbon), acid acetic, acetonă, butilenă, acid citric, formic, lactic. În figura 32 se prezintă o schemă similară de prelucrare intesivă a trestiei de zahăr.

În figura 33 se prezintă, după Segal (1979), o instalație de valorificarea complexă a cartofilor. Unitățile agricole moderne se organizează (Maria Popescu, 1979) pe principiul recirculării totale a materiilor prime și energiei (fig. 34).

În scopul valorificării cît mai complete a resurselor secundare, Piața Comună organizează în Luxemburg o „bancă de date" privitoare la reziduurile din comunitate, pentru a ușura efortul beficiarilor potențiali.

Nu întotdeauna soluțiile găsite sînt cele mai fericite. Pentru a ilustra această observație ne vom referi la cîteva exemple, culese toate din realitatea

americană. Astfel, între Cincinnati și Pittsburgh, apele fluviului Ohio se purifică și se refolosesc de 5 ori. Stațiile de epurare din Chicago produc zilnic 100 tone compost, pe care-l transportă pînă în Florida și îl vînd cultivatorilor de legume cu 12 dolari tona. Sînt realizări economice remarcabile, care respectă integral legile ecologice. Nu același lucru se poate însă spune despre formarea (tot în Chicago) a unor munți artificiali de deșeuri, care se acoperă cu folie de aluminiu și se folosesc ca piste de schi!

Protecția mediului înconjurător constituie o parte importantă a civilizației noastre tehnologice, coordonată de numeroase organisme naționale și internaționale: Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii și a Resurselor Naturale, programul UNESCO Om-biosferă (MAB), Programul Națiunilor Unite pentru Mediul Înconjurător (cu sediul la Nairobi în Kenya etc.). Cheltuielile afectate acestui capitol din buget par la prima vedere enorme: 287 miliarde dolari S.U.A. În deceniul 8, 2 miliarde ruble pe an U.R.S.S., 14,3 miliarde lei (România, 1976—1980). În realitate ele reprezintă 2,5% din produsul național brut în S.U.A., sub 1% în țările Europei Occidentale, 1,7% din venitul național în România, permițînd însă salvarea unor resurse colosale. Se poate spune că, pe termen lung, acestea sînt cele mai rentabile investiții.

O înțelegere simplistă a relațiilor om-mediu înconjurător a tins, în secolele trecute, să facă din natură un obiect inert, supus integral dorințelor omului, chiar capriciilor sale. Rarele măsuri de protecție, unele de dată foarte veche — cum ar fi cele din Tailanda sau India, în timpul regelui Asoka — aveau ca sursă o filozofie greu de acceptat, care plasa omul mai jos, pe scara valorilor, decît alte viețuitoare

(un cod de legi din Cambodgia medievală considera o vacă mai prețioasă decît un brahman) sau dispreţul feudal, pentru care vînatul nobilului era mai de preţ decît pîinea ţăranului (în Franţa dinainte de 1789). Rareori îşi făcea loc gîndirea sănătoasă, ca de pildă în filozofia lui Lao Tze — pentru care ţăranul ce coseşte milioane de fire de iarbă, pentru a asigura furaj vitelor şi deci hrana sa, e perfect îndreptăţit să o facă, dar un ins ce distruge din capriciu un fir de iarbă e un barbar —, sau cea a ţăranilor din Glaris (Elveţia) ce au înfiinţat, în plin secol al XVI-lea, o rezervaţie naturală.

Printr-o reacţie uşor de înţeles şi-a făcut loc o altă gîndire simplificatoare, pentru care nici o intervenţie în natură nu este justificată. Nu putem adera la reacţii de tipul celor ale anarhiştilor francezi din 1968: „desfaceţi asfaltul, sub el este plajă". Sub asfalt este numai noroiul de care civilizaţia ne-a scăpat. Sîntem întrutotul alături de filozofia ce ghidează specialiştii din ţara noastră, care continuă unele practici indispensabile păstrării florei — de pildă cositul, fără de care ar dispare narcisele (Boşcaiu, 1978). Cercetătorul român arată că nu aveam în limba română termen pentru „avalanşă" întrucît ele lipseau din Carpaţi: reducerea păstoritului şi defrişarea jnepenişului sînt, în egală masură, responsabile pentru apariţia lor. Nu este îndreptăţită observaţia lui Leo Marx: „actuala criză a mediului a dat, într-un anume sens ... o bază faptică a acestei idei poetice" (armonia om-natură). Mai curînd am putea spune că actuala criză ideologică a generat pesimism tehnologic şi (ca în vremea lui Ludovic al XV-lea) refugiu într-o filozofie neoruseauistă.

Propagarea pesimismului ecologic, a „non-intervenţiei omului", porneşte de la considerente co-

merciale sau ideologice (o revistă anarhistă povățuia „lansați discuții despre poluare. Dacă nu aveți argumente, inventați cifre"). În cea mai mare parte acestea vizează agricultura, fără a lua în seamă zonele cu lipsă de alimente, care ar crește considerabil în cazul abandonării sistemului actual de agricultură intensivă, furnizoare de hrană de înaltă calitate.

Campania împotriva insecticidelor organoclorurate (produse în foarte multe țări cu nivel modest de dezvoltare) a fost alimentată chiar de marile firme chimice, pentru care aceste substanțe nu mai prezentau perspective, dar aveau insecticide de înlocuire pe care doreau să le lanseze. Deoarece acestea erau mai scumpe și mult mai toxice decît produsele organoclorurate, s-a orchestrat o campanie abilă care să demonstreze imposibilitatea absolută a eliminării pesticidelor organoclorurate din mediu.

Insecticidele organoclorurate sînt într-adevăr dotate cu o mare recalcitranță moleculară, legată de două caracteristici: legătura între carbon și clor și solubilitate foarte redusă în apă (Ghinea, 1978, Dagley, 1978). Ele pot fi totuși integrate circuitelor naturale, dar în condiții diferite de cele în care avea loc descompunerea substanțelor prezentate anterior: majoritatea substanțelor organice se descompun cu atît mai intens cu cît mediul în care se găsesc este mai aerat (microorganismele le ard, le oxidează, folosind energia rezultată din acest proces); dimpotrivă insecticidele organoclorurate și alte substanțe cu mare recalcitranță moleculară se descompun numai în medii lipsite de oxigen. Acest fenomen este ilustrat în figura 35 pentru metoxiclor, un insecticid foarte asemănător cu DDT-ul.

Pentru a frînge recalcitranța moleculară a substanțelor greu biodegradabile este necesar să se con-

sume o mare cantitate de energie, o cantitate mai mare decît rezultă prin degradarea acestora. Deci, spre deosebire de substanțele nerecalcitrante la biodegradare, care sînt metabolizate furnizînd microorganismelor active în proces energia necesară creșterii, substanțele puternic recalcitrante nu pot furniza energia necesară microorganismelor efectoare ale degradării. Acestea au deci nevoie pentru a se dezvolta de o altă sursă de energie, mai ușor asimilabilă, pe care o metabolizează. De aceea, spre deosebire de metabolismul substanțelor ușor biodegradabile, procesul descompunerii substanțelor cu recalcitranță moleculară se numește cometabolism. Este evident că după ce structurile recalcitrante la degradare sînt rupte, atomii sau grupele de atomi sînt incluși ulterior în metabolism.

Substanțele metabolizate, servind ca surse de energie microorganismelor active în proces, determină înmulțirea accelerată a acestora și sînt descompuse rapid. Dimpotrivă, substanțele cometabolizate, neputînd servi ca sursă de energie microorganismelor, nu determină multiplicarea energică a microflorei active în degradare și persistă mult timp în mediu.

Descompunerea substanțelor metabolizate este cu atît mai energică cu cît concentrația acestora este mai mare, așa cum reiese din compararea datelor obținute de Rodica Chirilă (1984). Din figura 36 se vede că 1 și 3 părți la milion (ppm) dimetoat se descompun tot în aproximativ 50 zile, ceea ce presupune o descompunere de trei ori mai energică în cazul concentrației mai mari (această regularitate este desigur valabilă pînă ce substanța atinge limita la care ea devine toxică pentru organismul activ în degradare).

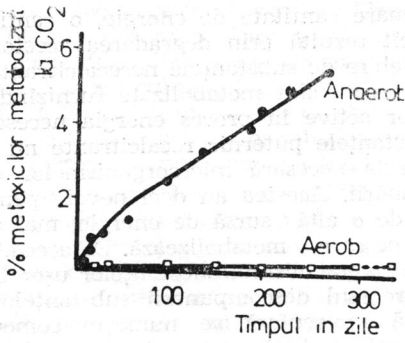


Fig. 35. Cometabolizarea metoxiclorului în sol în funcție de aerație

Deși unii autori sînt de părere că în procesul de metabolism joacă un mare rol asemănarea cu anumite substanțe mai ușor de descompus (Reber, 1975), Plimmer (1971) pentru aminotriazol, Ghinea și Pestemer (1982) pentru triazine au demonstrat că rolul principal revine producerii în sol a unor substanțe cu grad ridicat de activitate biologică (radicali liberi). Aceștia sînt produși de către diverse microorganisme ca deșeuri ale metabolismului lor și, ulterior, reacționează cu moleculele substanțelor cu mare recalcitranță rezultînd substanțe degradabile de către microorganisme. Alți cercetători au demonstrat ulterior că microorganismele care descompun fenoxiacetații și clorfenoxiacetații pot fi diferite, ceea ce, de asemenea, nu concordă cu „ipoteza Reber".

Recalcitranța moleculară, descompunerea metabolică sau cometabolică a unei substanțe nu se leagă

de caracterul natural sau sintetic al acesteia. Printre substanțele naturale sînt, de asemenea, așa cum s-a arătat anterior, compuși cu mare recalcitranță și care se descompun cometabolic — lignine, acizi humici etc. — întocmai ca și produșii de sinteză (Eliade ș.a., 1983).

Unele microorganisme (între care *Pseudomonas)* sînt capabile a descompune substanțe neobișnuite datorită prezenței în celule a unor componente speciale, așa-numitele plasmide D (de la *degradation* = degradare). Acestea determină capacitatea de a folosi în metabolism unele substanțe sintetice, ca și unii compuși naturali mai puțin degradabili de către microorganisme (salicilatul, naftalina, camforul, octanul, xilolul, toluolul). Aceaste plasmide au fost găsite în microorganisme foarte diferite *(Escherichia coli, Rhodopseudomonas spheroides, Rhizobium* sp., *Agrobacterium tumefaciens, Pseudomonas putida, P. fluorescens, Acinetobacter calcoaceticus).*

Încă înainte de a se cunoaște aceste aspecte ale citologiei bacteriene, microbiologul american Munnecke (1975) a reușit să obțină, din culturi bacteriene, un preparat enzimatic capabil să descompună integral un insecticid foarte toxic — parationul (numit în popor „verde de Paris"). Preparatul său servește la curățirea apelor, echipamentului de stropit, recipientelor etc. Cercetări ulterioare au evidențiat și la culturile de microorganisme utilizate de către Munnecke prezența unei plasmide. Descoperirea făcută de către Munnecke s-a datorat exploatării abile a împrejurării că el a găsit întîmplător o tulpină microbiană capabilă să descompună parationul.

Cunoașterea bazelor citologice ale procesului de biodegradare permite să se obțină însă în mod arti-

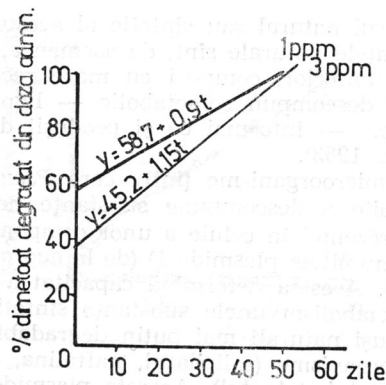


Fig. 36. Degradarea dimetoatului în funcție de doza administrată

ficial astfel de microorganisme. În acest fel s-au obținut microorganisme capabile să descompună pesticidul 2, 4, 5 T. S-a pornit de la o bacterie banală — *Pseudomonas putida* — care a fost crescută pe un mediu conținînd, ca sursă de energie — camfor, și în plus, o slabă concentrație de 2, 4, 5 T. Bacteria a fost trecută apoi succesiv pe mediu cu salicilat, toluol, 3-clorobenzoat și (în toate cazurile) cu pesticidul respectiv. S-a obținut în final un microorganism cu totul nou, capabil să oxideze energic 2, 4, 5 T, pe care îl suportă pînă la concentrația de 2 miligrame/litru. El a fost denumit *Pseudomonas cepacia AC 1 100* și a fost brevetat.

Cercetătorii și-au pus problema dacă acest microorganism poate supraviețui și-și poate păstra caracterele în natură. Pentru aceasta a fost inoculat pămînt obișnuit cu 7 milioane celule de *P. cepacia*/gram sol conținînd 1% 2, 4, 5 T. Pesticidul a

fost degradat în proporție de 95% în decurs de o săptămînă, în condiții favorabile de mediu (30°C și 25% umiditate). Frecvența microorganismelor scade treptat și nu mai pot fi detectate după 2—3 luni. Unele celule izolate mai persistă însă, căci dacă se introduce în sol 2, 4, 5 T, acesta începe a fi descompus după 2 săptămîni.

Probleme foarte dificile ridică pentru mediul ambiant bifenili policlorurați (folosiți în industria chimică), foarte răspîndiți în țările occidentale și periculoși pentru om și mediul ambiant. Cercetătorii au reușită însă să obțină din apa puternic poluată a fluviului Hudson (S.U.A.) două bacterii *(Klebsiella pneumoniae AC 901* și *Serratia marceseens AC 906)* care descompun complet aceste substanțe.

Cunoașterea fenomenelor de biodegradare, precum și a altor căi de descompunere a produșilor sintetici, cum ar fi inactivitatea sub acțiunea luminii solare, permit astăzi industriei să producă substanțe sintetice a căror persistență să fie strict corelată cu durata utilizării lor. În acest scop se folosește proiectarea pe calculator a structurii lor moleculare (așa este cazul maselor plastice din seria Ecolyte, a unor pesticide etc.).

Problemele cele mai dificile legate de remanență le prezintă unele substanțe — toxice pentru microorganisme — printre care fungicidele, introduse în mediul ambiant pentru a împiedica înmulțirea unor ciuperci dăunătoare intereselor omului. Limitele toxicității lor (așa-numitul spectru de acțiune) este însă mult mai largă decît destinația dată de om, ele cuprinzînd adesea chiar microorganismele care ar putea fi active în procesul de biodegradare. În acest caz trebuie să intervină o serie de procese nebiologice — cum ar fi spălarea cu apă de precipitații

(levigare) care să scadă concentrația pesticidului sub limita toxică pentru microorganismul capabil de descompunere. O dată atinsă concentrația netoxică, biodegradarea poate începe.

Fungicidele vechi — cele mai multe conținînd metale grele, cum ar fi cuprul și mai ales mercurul — prezentau un grad foarte mare de periculozitate pentru mediul înconjurător. Pesticidele noi, care au ca substanță activă antibioticele sînt însă biodegradabile. Balasabramanian și Patel (1980), spre exemplu, au demonstrat că două specii de bacterii și 4 ciuperci microscopice (*Aspergillus notus, A. carnea, Penicillium citrinum* și *Cladosporium herbarum*) pot descompune două asemenea fungicide, din care produc o serie de substanțe organice și anorganice, printre care nitrați folosiți de către plante în nutriție. În acest caz, producerea nitraților de la substanțe organice și fără a trece prin treapta intermediară a nitriților diferă fundamental de producerea chimiotrofă a nitraților, descrisă de Winogradski. (Nitrificarea heterotrofă a fost presupusă teoretic încă din 1935 și demonstrată după 1950, dar ea este de mică importanță, decurgînd foarte lent.)

Nu poate fi nici pe departe acceptată ideea că produsele naturale sînt „sănătoase", iar cele chimizate — „de slabă calitate sanogenă". Produsele netratate chimic sînt cel mai adesea infestate cu insecte și mucegaiuri, acestea din urmă producătoare a unor substanțe deosebit de toxice și cancerigene: micotoxinele. Micotoxinele produse de ciupercile *Aspergillus* și *Fusarium* pe arahide, migdale, cereale, mazăre, fasole, cafea, tutun, carne și pește uscat, pe salamuri și sucuri de fructe sînt toxice nervoase mult mai puternice decît pesticidele. Prelucrarea alimentelor (uscare, pulverizare, pasteurizare, filtrare prin asbest), condamnate de „naturiști", împie-

dică producerea micotoxinelor. În cartofii încolțiți se produce o substanță absolut naturală, salsolidina — dar care determină otrăviri, uneori fatale, precum și anomalii genetice la nou-născuți. Să amintim aici „ipoteza Renwick" după care frecvența malformațiilor congenitale la om corelează cu consumul de cartofi mucegăiți. Comparativ cu apariția acestor substanțe toxice care-s caracteristice agriculturii neindustrializate, neluate în seamă, la vremea lor, de lumea înfometată de acum 200 de ani (să reamintim endemismul pelagrei în România), utilizarea controlată, după norme științifice, a unor substanțe chimice în agricultura de astăzi ne apare cu atît mai rațională.

Nu rareori utilizarea substanțelor chimice are ca urmare nu numai salvarea unor cantități de produse agricole, împiedicarea contaminării lor cu mucegaiuri toxice, ci și îmbunătățirea calității hranei. În figura 37 se redă, după Byast și Hance (1976), creșterea cantității de acid ascorbic (vitamină C) din fructe în urma tratării cu un erbicid (clortiamid).

Știința permite obținerea de alimente în cantități sporite și de calități superioare, cu condiția respectării tuturor indicațiilor sale. Ea permite totodată controlul corectitudinii tehnologiilor folosite în producerea alimentelor. Serviciile sanitare de specialitate din Europa, inclusiv din țara noastră, America de Nord, Australia, efectuează anual sute de mii de analize pentru protecția sănătății consumatorilor, eliminînd din consum alimentele necorespunzătoare. Există reglementări în această privință în mai toate țările, ca și pe plan internațional („Codex alimentarius" elaborat de OMS și FAO, de exemplu).

Randamentul ridicat al producției agricole a permis un vast program de împădurire în numeroase țări europene. O dată cu aceasta este salvat teri-

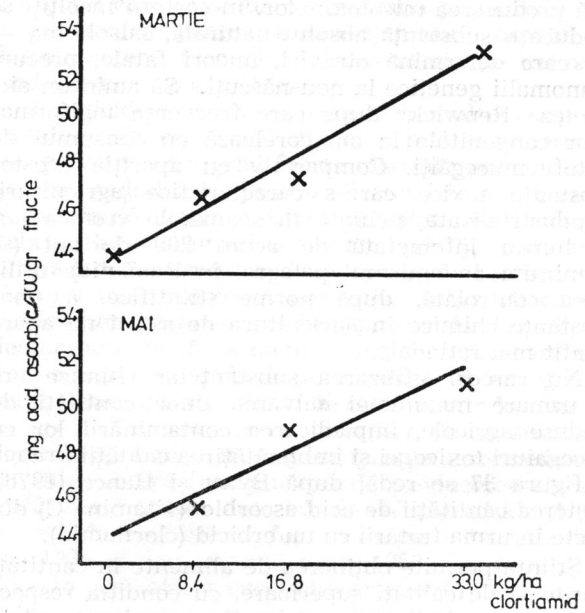


Fig. 37

toriul a sute de specii vegetale și animale. Legislația modernă protejează speciile pe cale de dispariție, zoologii și botaniștii se îngrijesc de introducerea acestora în areale din care au dispărut. Măsurile luate în ultimile 4 decenii au permis, spre exemplu, reînmulțirea urșilor din Carpați, în prezent densitatea lor depășind pe cea optimă. Specialiștii elvețieni fac în prezent eforturi pentru a-i reintroduce în Alpi, unde au dispărut după 1904. „Reintroducerea unei specii animale exterminate consti-

tuie o operă comparabilă cu restaurarea unei catedrale" preciza Programul O.N.U. pentru Mediul Înconjurător. După 1973 (cînd s-a încheiat o convenție corespunzătoare între țările arctice) efectivul urșilor polari s-a dublat. În masivul Cevenilor au reapărut vulturii. În urma măsurilor luate, în R. P. Chineză a fost salvat de la pieire ursul Panda. O însemnătate excepțională o are înființarea de către Ecuador a unei rezervații menită să protejeze fauna insulelor Galápagos, de o mare originalitate și interes biologico-istoric (ea a avut o mare importanță decisivă în cristalizarea ideilor evoluționiste ale marelui Darwin). S-au găsit mijloace pentru a se administra chiar antibiotice balenelor bolnave de pneumonie.

Depășind atît dezinteresul înapoiat față de mediu, cît și tendința utopică de „neintervenție" în natură, s-a ajuns la sinteza justă a optimizării cadrului natural.

Este evident că irigarea unei zone aride, fie ea în California, Kazahstan sau sudul Olteniei — modifică aspectul natural al acesteia. Poate fi însă regretată transformarea peisajului dezolant, aproape lipsit de viață, în „oaze de verdeață"? (de altfel, cel puțin în sudul Olteniei, a fost conservată o „zonă muzeu" în care omul nu a intervenit cu nimic). De asemenea, nu poate fi regretată proiectata transformare a Mării Moarte într-o zonă accesibilă vieții, prin săparea unui canal de legătură cu Marea Mediterană.

Nu poate fi însă scuzată contrabanda cu păsări și animale rare, care contribuie enorm la dispariția acestora sau așa-zise „măsuri de depoluare" prin injectarea substanțelor toxice în subsol, folosirea apei freatice în industrie etc., construcția unor ba-

raje pentru hidrocentrale, fără a se evalua toate riscurile ecologice (de curînd s-a sistat construcția unui astfel de baraj în Norvegia pentru că ar fi dus la dispariția somonilor din apă, a renilor din tundră, la degradarea peisajului). De obicei o hidrocentrală, un lac de baraj, constituie o zonă de înmulțire a peștilor, un spor de frumusețe adăugat naturii (ca la Vidraru sau în Apuseni).

O soluție de amenajare a mediului ambiant constă în dragarea și refolosirea mîlului fertil transportat de către rîuri (soluție veche în Egipt, de milenii), din păcate inconsecvent aplicată. Deocamdată apele lumii poartă în ocean 10—16 milioane km^3 aluviuni prețioase pentru agricultură.

Optimizarea mediului natural cuprinde, ca o componentă indispensabilă, înlăturarea unor boli deosebit de periculoase.

Folosirea completă a resurselor naturale cuprinde și redarea în cultură a fostelor exploatări miniere de suprafață, a terenurilor acoperite de halde de steril. Nastea (1978) arată că un hectar al acestor halde, reamenajat și fertilizat, poate da producții importante (pînă la 50 t trifoi, 24 t lucernă sau sparcetă, 18 t lolium, 10 t cartofi).

Apele încălzite ale termocentralelor, utilizate rațional, aduc confort în locuințe sau permit obținerea de legume în sere, de cantități sporite de pește (Germania de Vest) sau crevete (U.R.S.S.). Bazinele acvatice vor furniza cantități sporite de proteine prin cultivarea unor alge (spre exemplu *Spirulina maxima,* folosită în alimentație încă de azteci).

Acvacultura are o tradiție multimilenară (era cunoscută încă de fenicieni, de vechii chinezi, de azteci), dar este departe de forma ei științifică. Folosirea radiolocatoarelor, a unor emițătoare de su-

nete, dar mai ales a cunoștințelor de biologie poate aduce în acest domeniu o adevărată revoluție.

Rărirea balenelor (datorită vînătorii irațională, care continuă încă, cu toate protestele oamenilor de știință) a dus la acumularea în zona antarctică a unor cantități imense de creveți (kril) cu care acestea se hrăneau. Krilul poate constitui un aliment proteic excelent, foarte abundent și extrem de gustos, pentru om, care ar prelua astfel etajul terminal al încă unui lanț trofic, o „nișă ecologică" liberată de el prin acțiuni irațională.

Agricultura modernă, la rîndul ei, introduce în circuitul natural noi specii de plante (de la arbori pînă la ciuperci și animale). Ingineria genetică numără deja la activul său realizări remarcabile, între care un soi de orez de mare productivitate obținut de specialiștii chinezi, vaccinuri de mare randament (împotriva febrei aftoase, a hepatitei virale etc.) dar aportul acestei științe de vîrf va crește mult în viitorii ani (Ghinea, 1982 și Raicu, 1983).

Folosite rațional, resursele Terrei sînt încă o dată capabile să permită omului ieșirea din actuala criză, un nou salt al civilizației pe culmi pe care cu greu le putem anticipa.

CUPRINSUL

I ETERNA REÎNTOARCERE ÎN NATURĂ 5

1. Viața, această complicație în circuitul carbonului 5
2. Prima criză energetică: acum trei miliarde de ani!..... 14
3. Azotul și intima lui legătură cu carbonul 43
4. ... Și alte elemente evoluează ciclic 88

II OMUL ȘI ETERNA REÎNTOARCERE 96

1. „A doua criză energetică" și destinul omului 96
2. Agricultura sau sfîrșitul echilibrului natural 102
3. Era tehnologică, un circuit care se închide 111
4. Foluarea sau pedepsa pentru neglijarea „eternei reîntoarceri" 116
5. Energetica la școala naturii 126

Redactor: DOINA PIENESCU
Tehnoredactor: OLIMPIU POPA
Coli tipar: 5; bun de tipar: 11.02.1991

Tiparul executat la I. P. Sibiu sub cd. 019153

Viaţa pe planeta noastră foloseşte cantităţi limitate de carbon, azot, fosfor şi alte elemente. Totuşi, natura, spre deosebire de om, nu cunoaşte penurie, nu este ameninţată de epuizarea "stocurilor de materii prime". Secretul constă în utilizarea ciclică a resurselor, în "eterna reîntoarcere" a atomilor de carbon, azot, fosfor la forma lor iniţială. Modul în care uneltele naturii — microorganismele — reuşesc să întreţină aceste vaste circuite, este o poveste interesantă şi plină de sugestii pentru activitatea economică şi noile tehnologii pe care ştiinţa le va elabora la porţile mileniului al III-lea.

Editura Enciclopedică Lei 80

ISBN 973-45-0024-4